



INCORPORACIÓN DE SÍMBOLOS TRIDIMENSIONALES EN PLANOS TÁCTILES PARA LA MEJORA DE SU USABILIDAD

Tesis presentada para obtener el título de doctor

Doctorando: Jaume Gual Ortí

Directores

Marina Puyuelo Cazorla
Universitat Politècnica de València

Joaquim Lloveras Macia
Universitat Politècnica de Catalunya



Programa de doctorado:
Projectes d'Innovació Tecnològica a l'Enginyeria de Producte i Procés (PITEPP)
Departament de Projectes d'Enginyeria
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Barcelona, 2013

INCORPORACIÓN DE SÍMBOLOS TRIDIMENSIONALES EN PLANOS TÁCTILES PARA LA MEJORA DE SU USABILIDAD

Doctorando:

Jaume Gual Ortí

Directores:

Marina Puyuelo Cazorla

Departamento de Expresión Gráfica
Arquitectónica, Escuela Técnica Superior en
ingeniería del Diseño (ETSID), Universitat
Politécnica de València (UPV)
Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, Spain



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Joaquim Lloveras Macia

Departamento de Proyectos de la Ingeniería,
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial de Barcelona (ETSEIB), Universitat
Politécnica de Catalunya (UPC), Edifici H
(ETSEIB), Planta 10, Av. Diagonal, 647,
08028, Barcelona, Spain



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Programa de doctorado en Innovación Tecnológica en la Ingeniería de Producto y Proceso (PITEPP), Departamento de Proyectos de Ingeniería, Universidad Politécnica de Catalunya (UPC)

Barcelona, mayo de 2013

Quiero dedicar, con toda sinceridad, el trabajo aquí presentado:

A Susanna, por los momentos inolvidables compartidos desde aquel día que una casualidad juntó nuestros caminos, por su inmensa paciencia conmigo en este trayecto, por el apoyo recibido en todo momento y por el esfuerzo de sacrificar su tiempo libre a costa de este estudio.

A mi familia, especialmente a mis padres, Juan y Luisa, por el cariño recibido y por la educación que me han proporcionado.

Y a todos aquellos amigos, compañeros de estudio y trabajo, que, de algún modo u otro, han participado en hacer crecer mi experiencia y llenar de recuerdos este trayecto hacia el doctorado. Aunque no los nombre, ellos se sentirán aludidos.

Prefacio y agradecimientos

Ciertos grupos de usuarios como las personas con discapacidad visual precisan una atención especial para tratar de mejorar su relación con el entorno y su calidad de vida. En este sentido, los planos táctiles son productos que comunican información gráfica a través del relieve y el empleo del tacto, sentido, este último, del que dependen gran parte de los estímulos externos recibidos por las personas invidentes. La implementación de estos dispositivos permite acceder a estos usuarios a información gráfica que, de otro modo, sería cuanto menos difícil. No obstante, su uso no está del todo extendido, entre otras cosas porque existen determinados aspectos que pueden mejorarse, tal es el caso de la usabilidad de los símbolos táctiles, tema central de este estudio.

El documento que aquí se expone, y que sintetiza el trabajo realizado a lo largo de estos últimos años sobre usabilidad de símbolos y planos táctiles bajo el prisma del diseño inclusivo, se estructura en 11 capítulos tal y como se propone en el índice. El discurso se inicia en el Capítulo 2 con la introducción al marco teórico y a los antecedentes. En esta sección se exponen los aspectos más significativos, desde los más generales a los concretos, para entender el ámbito de estudio. Posteriormente, en los Capítulos 3 y 4, se plantean las preguntas de investigación, las hipótesis de trabajo y los objetivos específicos de un modo breve y conciso con el fin de clarificar el sentido del estudio, así como los límites y alcance de la investigación, acotando y concretando la dimensión de ésta. Los Capítulos 5 y 6 presentan los principales aspectos metodológicos empleados para abordar el trabajo, de carácter principalmente experimental, y el ámbito en el que este estudio se centra, el patrimonio cultural construido. El peso relativo de los experimentos en esta investigación, un total de 7 experimentos incluyendo los primeras pruebas piloto, justifica un tratamiento en un capítulo a parte, de ahí que en el Capítulo 7, después de presentar los contextos en los que se ha centrado el trabajo, se describen en detalle los distintos experimentos y su sentido dentro del modelo metodológico. A continuación, en la siguiente sección se presentan los datos obtenidos en estos experimentos, así como un análisis de ellos. Los Capítulos 8 y 9 cierran el estudio exponiendo las principales conclusiones y, brevemente, algunas posibles líneas de investigación de futuro, así como algunas posibles aplicaciones prácticas que podrían extraerse del conocimiento aportado. Por último, en el Capítulo 11 se muestra las referencias bibliográficas citadas durante el texto y, finalizando el documento, se exponen los anexos, en los cuales se incluye un glosario con la terminología específica utilizada en el trabajo y la descripción detallada del material empleado en los experimentos.

Más allá de la propia estructura del documento cabe también tratar los motivos y el contexto en el que se ha llevado a cabo éste, así como agradecer la colaboración y las ayudas recibidas. De este modo, el motivo principal que da pie a esta tesis es el interés personal y profesional por conducir el ámbito de investigación hacia el campo de las personas con discapacidad y el diseño inclusivo, y continuar así una trayectoria predoctoral de más de una década de recorrido que se iniciaba en el año 2002 con la participación como investigador en un primer proyecto, "Desarrollo de un modelo prospectivo de espacios urbanos y diseño adaptados a grupos de usuarios: lugares al aire libre para personas mayores" (P1-1A2002-09), concedido por la *Universitat Jaume I* y financiado por la *Fundació Caixa Castelló-Bancaixa* y dirigido por Marina Puyuelo Cazorla.

Por otro lado, esta investigación se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación dirigido desde la *Universitat Politècnica de València* (UPV) por Marina Puyuelo Cazorla, "*Estudio y diseño de elementos de orientación, soportes de comunicación y otros accesorios para la mejora de la accesibilidad en distintos ámbitos de interpretación del patrimonio natural y/o construidos*" (DPI2008-03981/DPI), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación dentro del Programa Nacional de Investigación Fundamental, Plan Nacional de I+D+I.

El estudio, además, ha sido realizado dentro del Programa de Mobilitat del Personal Investigador de la Universitat Jaume I (E-2010-32 y E-2011-16) financiado por la *Fundació Caixa Castelló-Bancaixa*, mediante el que se ha posibilitado una serie de estancias en la ciudad de Barcelona, concretamente en la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC), desde las que se han realizado la mayor parte del trabajo de campo bajo la tutela del profesor Joaquim Lloveras Macia.

Por otro lado, se ha de agradecer especialmente la colaboración desinteresada de diversos centros, entidades y personas que han hecho posible con su ayuda el desarrollo del trabajo de campo experimental y el desarrollo del material necesario para la realización de este trabajo, además de proporcionar su preciado asesoramiento. Las entidades colaboradoras han sido las siguientes:

- La Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) de Barcelona, desde su centro CRE (*Centre de Recursos Educatius*).
- La delegación de la ONCE en Castellón.
- La delegación de la ONCE en Tarragona.
- La delegación de la ONCE en Valencia.
- La *Associació Discapacitat Visual de Catalunya B1+B2+B3* en Barcelona.
- La *Associació Catalana per la Integració del Cec* (ACIC) en Barcelona.
- La empresa *Touch Graphics Europe* en Sabadell (Barcelona).

- La empresa *Quodlibet* en San Cugat del Vallés (Barcelona).
- La empresa *Protocas 3D* en Castellón.
- La empresa *Comaccess, Comunicació Accesible* en Barcelona.
- El *Museu de Prehistòria de Valencia* (Diputació de València), especialmente el personal de esta entidad relacionado con el área relativa al yacimiento arqueológico íbero de La Bastida de les Alcusses en Moixent (Valencia).
- El Personal del *Programa d'Atenció a les Discapacitats de la Universitat Politècnica de Catalunya*, en Barcelona.

Por último, es importante señalar el apoyo y paciencia de Francesc Vila quien desde su experiencia personal como invidente, su conocimiento de la materia, sus inquietudes culturales, así como desde su amplio círculo de amistades, ha aportado el contacto de un importante número de voluntarios a esta investigación, además de proporcionar consejos de gran ayuda para la comprensión del fenómeno de estudio.

Resumen

Objetivo: El estudio que aquí se expone tiene como objetivo principal la mejora de la usabilidad de los planos táctiles orientados a personas con discapacidad visual.

Metodología: A partir de una metodología experimental principalmente cuantitativa como la medición de los tiempos de ejecución y errores cometidos en tareas propias del empleo de planos táctiles y, también, el uso de instrumentos como encuestas y mapas cognitivos, se han realizado una serie de cinco experimentos con usuarios de los que se ha extraído una amplia número de datos indicadores de la eficacia y eficiencia en el uso de este tipo de dispositivos, así como de su valoración subjetiva.

Resultados: Los resultados obtenidos en estos experimentos indican una valoración positiva de los planos táctiles como instrumentos para la mejora del aprendizaje espacial por parte de usuarios con discapacidad visual, así como una mejoría en términos de usabilidad producida por el efecto de introducir determinada simbología tridimensional en planos táctiles.

Palabras clave: *diseño inclusivo, diseño centrado en el usuario, usabilidad, patrimonio cultural-arquitectónico-urbanístico, discapacidad visual, gráfico tangible, plano táctil, símbolo táctil, prototipado rápido, impresión en 3D.*

Abstract

Objective: *The study presented here has as main objective the improvement of the usability of tactile maps oriented to people with visual disabilities.*

Methodology: *On basis of a quantitative experimental methodology seven experiments with users have been conducted, measuring time on task and errors; survey have been conducted as well. A large number of data indicative of the effectiveness and efficiency of tactile maps and their subjective rating have been obtained. In addition, cognitive maps have been used as qualitative methodology.*

Results: *The results of these experiments indicate a positive assessment of tactile maps as devices for improving spatial learning by visually impaired users, as well as an improvement of tactile maps, in terms of usability, by the effect of introducing three-dimensional symbology.*

Keywords: *inclusive design, user-centered design, usability, cultural-architectural-urban heritage, visual impairment, tangible graphic, tactile map, tactile symbol, rapid prototyping, 3D printing.*

ÍNDICE DE LOS CONTENIDOS

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	17
DISEÑO INCLUSIVO	19
LA ERGONOMÍA Y LOS DISPOSITIVOS TÁCTILES	21
EL PATRIMONIO Y LA ACCESIBILIDAD A LA CULTURA	22
USUARIOS CON DISCAPACIDAD	35
EL SENTIDO DEL TACTO Y LA DISCAPACIDAD VISUAL	45
EL CÓDIGO BRAILLE	53
PLANOS Y SÍMBOLOS TÁCTILES. GRÁFICOS TANGIBLES PARA LA ORIENTACIÓN Y LA MOVILIDAD	55
LITERATURA EN EL ÁMBITO DE LOS SÍMBOLOS Y PLANOS TÁCTILES	82
ELEMENTOS CONCEPTUALES DE DISEÑO: EL VOLUMEN	88
LA PROBLEMÁTICA DE LOS PLANOS Y SU SIMBOLOGÍA TÁCTIL	96
2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO y OBJETIVOS DEL ESTUDIO	101
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	101
HIPÓTESIS DE TRABAJO	101
OBJETIVO	102
3. ALCANCE, CONCRECIÓN Y LÍMITES DE LA TESIS	105
4. METODOLOGÍA	107
REGISTRO Y TRATAMIENTO DE DATOS	107
POBLACIÓN Y MUESTRA	108
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS. ASPECTOS ESTADÍSTICOS	109
5. ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS	113
6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL	121
EXPERIMENTOS PILOTO	121
PREGUNTAS DE INVESTIGACION Y SU RELACION CON LOS EXPERIMENTOS	123
DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS	131
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS	161
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS	161
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS	174
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL	178
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL	182
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA	187
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA	189
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO	191
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO	197
RESULTADOS DEL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR	205
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR	229
8. CONCLUSIONES	261
EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS	261
EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL	263
EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA	264
EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO	266
EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR	267
CONCLUSIONES FINALES	268
9. FUTUROS ESTUDIOS Y APLICACIONES	273
POSIBLES APLICACIONES	274
10. BIBLIOGRAFÍA	277

11. ANEXOS

295

Glosario	295
Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil	300
Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica	315
Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento D, Plano táctil urbano	318
Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento E, Plano táctil interior	320

GRÁFICOS

Gráfico 1: Esquema del proceso de comunicación. p. 93.

Gráfico 2: Resultados de las preguntas 1 y 2. p. 175.

Gráfico 3: Resultados de las preguntas 1 y 2 en función de la participación o no en la experiencia p. 175.

Gráfico 4: Distribución de la cantidad de elementos representados en ambos mapas en los 6 participantes en la experiencia. p. 177.

Gráfico 5: Media de los elementos representados en ambos mapas. p. 177.

Gráfico 6: Media de errores totales según la tipología de símbolos 2D o 3D. p. 183.

Gráfico 7: Distribución de errores según el tipo de deficiencia. p. 184.

Gráfico 8: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el perfil del usuario: Invidente, Deficiente visual y Vidente. p. 185.

Gráfico 9: Media de porcentaje de aciertos según el símbolos táctil. p. 186.

Gráfico 10: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la leyenda empleada. p. 189.

Gráfico 11: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según el tipo de participante. p. 190.

Gráfico 12: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la experiencia previa del participante. p. 190.

Gráfico 13: Errores totales entre grupos en la realización de la Tarea 1. p. 199.

Gráfico 14: Media de tiempos de localización en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4. p. 199.

Gráfico 15: Media de tiempos de localización (Tareas 2, 3 y 4) en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2. p. 200.

Gráfico 16: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de usuarios dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4. p. 201.

Gráfico 17: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2. p. 201.

Gráfico 18: Media de los tiempos de localización según la experiencia previa de los participantes en el Grupo 1. p. 202.

Gráfico 19: Gráfica resumen con los tiempos medios de cada perfil de participante dentro del Grupo 1. p. 202.

Gráfico 20: Gráfica comparativa entre los errores cometidos en el Grupo 1 en función de la experiencia previa de los participantes con los dispositivos táctiles. p. 203.

Gráfico 21: Media de errores cometidos dentro del Grupo 2 según el factor experiencia. p. 203.

Gráfico 22: Tiempos empleados en la localización de símbolos (Tareas 2, 3 y 4) según el tipo de plano o grupo. p. 204.

Gráfico 23: Media de errores cometidos en ambos grupos en las tareas 2, 3 y 4. p. 204.

Gráfico 24: Distribución de tiempos medios de localización entre grupos en la realización de las tareas 1, 4 y 7. p. 230.

Gráfico 25: Media de errores totales cometidos por cada grupo en la realización de las tareas 1, 4 y 7. p. 231.

Gráfico 26: Tiempo medio en ambos grupos según su perfil en el CASO 1 p. 232.

Gráfico 27: Tiempo medio en ambos grupos según su experiencia previa con los gráficos tangibles en el CASO 1. p. 233.

Gráfico 28: Error medio en ambos grupos según la tipología de participante en el CASO 1. p. 234.

Gráfico 29: Error medio en ambos grupos según la experiencia de los participantes en el CASO 1. p. 234.

Gráfico 30: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el tipo de participantes dentro del Grupo 1 p. 235.

Gráfico 31: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el nivel de experiencia previa de los participantes del Grupo 1. p. 236.

Gráfico 32: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según el tipo de participante. p. 237.

Gráfico 33: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes. p. 237.

Gráfico 34: Distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su perfil, dentro del Grupo 2 en el Caso 1. p. 238.

Gráfico 35: Distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su experiencia previa, dentro del Grupo 2 en el Caso 1. p. 238.

Gráfico 36: Media de errores cometidas por los participantes, según su perfil, del Grupo 2 en el Caso 1. p. 239.

Gráfico 37: Media de errores cometidas por los participantes, según su experiencia previa, del Grupo 2 en el Caso 1 p. 240.

Gráfico 38: Distribución de tiempos de localización entre grupos: Media y Desviación estándar. p. 241.

Gráfico 39: Media de errores totales cometidos por cada grupo. p. 241.

Gráfico 40: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante. p. 243.

Gráfico 41: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según la experiencia previa del participante. p. 243.

Gráfico 42: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según el perfil de participante. p. 244.

Gráfico 43: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 245.

Gráfico 44: Tiempo medio empleado en el Caso 2 dentro del Grupo 1 según el perfil de participante. p. 246.

Gráfico 45: Tiempo medio empleado en Caso 2 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes. p. 246.

Gráfico 46: Errores medios cometidos en el Caso 2 según el perfil del participante dentro del Grupo 1. p. 247.

Gráfico 47: Errores medios cometidos en el Caso 2 según el perfil la experiencia previa de los participantes dentro del Grupo 1. p. 247.

Gráfico 48: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 entre perfiles de participantes. p. 248.

Gráfico 49: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 248.

Gráfico 50: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 entre perfiles de participantes. p. 249.

Gráfico 51: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 249.

Gráfico 52: Media de errores totales cometidos por cada grupo. p. 251.

Gráfico 53: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante. p. 252.

Gráfico 54: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según la experiencia del participante. p. 252.

Gráfico 55: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según el perfil de participante. p. 253.

Gráfico 56: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante. p. 253.

Gráfico 57: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 2 según el perfil de participante. p. 254.

Gráfico 58: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante. p. 254.

Gráfico 59: Media de errores totales dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 255.

Gráfico 60: Media de los errores de localización dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 257.

Gráfico 61: Media de Falsos aciertos dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 258.

Gráfico 62: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor. p. 259.

Gráfico 63: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor; y media de errores totales entre grupos en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor. p. 259.

IMÁGENES

Imagen 1: Las personas mayores son un ejemplo de pérdida de capacidades debido al proceso de envejecimiento. p. 19.

Imagen 2: Imagen de un control de mandos de avión en el que se observa una enorme complejidad. La discriminación táctil juega un papel fundamental en estos casos (Fuente: Galería de Multiply Leadership) p. 22.

Imagen 3: Imagen de la Plaza de San Pedro en el Vaticano. p. 27.

Imagen 4: Maqueta táctil del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona. p. 29.

Imagen 5: Plano táctil del Museo Tifológico de la ONCE en Madrid p. 29.

Imagen 6: Modelo táctil de la catedral de Santiago de Compostela del Museo Tifológico de la ONCE. p. 30.

Imagen 7: Audioguía con auriculares y plano visual de la visita al templo de la Sagrada Familia en Barcelona. p. 31.

Imagen 8: Estudio gráfico de traslado de silla de ruedas en un hogar. El usuario principal precisa ayuda para realizar esta tarea cotidiana. p. 36.

Imagen 9: Personas con discapacidad visual explorando una maqueta táctil (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo). p. 38.

Imagen 10: Visión de personas con lesiones en la parte central de la retina. p. 40.

Imagen 11: Visión de personas con daño en la parte periférica de la retina. p. 40.

Imagen 12: Visión borrosa. p. 40.

Imagen 13: Plano permanente en relieve de la planta baja de la Casa Milà (Barcelona), Dispositivo de uso colectivo. p. 44.

Imagen 14: Usuario con discapacidad visual experimentando desde el sentido del tacto con el relieve de una maqueta táctil en fase de evaluación (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo). p. 46.

Imagen 15: Secuencia recomendada de gestos en la exploración de un gráfico tangible. p. 49.

Imagen 16: Sección de una línea en relieve, la de la derecha es más fácil de percibir debido a su mayor contraste de altura y a su mejor definición. p. 51.

Imagen 17: Libro escrito en código Braille. p. 53.

Imagen 18: Alfabeto Braille p. 54.

Imagen 19: Detalle de máquina expendedora de billetes con Braille para facilitar al acceso a personas con discapacidad visual. p. 55.

Imagen 20: Detalle de gráfico tangible en papel. p. 56.

Imagen 21: Gráfico Tangible de la Venus Capitolina (Roma). Combina relieve y trazos sintéticos en color de su contorno más significativo. p. 56.

Imagen 22: Plano táctil de la 3ª planta del Museo Tifológico de la ONCE en Madrid. p. 57.

Imagen 23: Detalle de un grupo de símbolos táctiles correspondientes al plano en relieve de la planta baja de la casa Milà (Barcelona). p. 58.

Imagen 24: Plano táctil de un área de la ciudad de Barcelona, empleado en el proceso de aprendizaje de un recorrido p. 59.

Imagen 25: Mapa cognitivo, con indicaciones añadidas, realizado por un invidente sobre una zona urbana para aprender un recorrido en la ciudad. El trazo del usuario invidente se aprecia en relieve. p. 60.

Imagen 26: Usuario invidente en un paso de peatones ayudándose del bastón blanco p. 62.

Imagen 27: Invidente consultando un plano táctil in situ. p. 62.

Imagen 28: Plano táctil situado en un patio interior de la Casa Milà (La Pedrera, Barcelona) p. 63.

Imagen 29: Plano táctil con leyenda de símbolos en la parte izquierda. Fuente de la imagen: (Fujimoto, 2005). p. 66.

Imagen 30: Detalle del mapa topográfico de la península ibérica y de su leyenda con símbolos volumétricos. p. 69.

Imagen 31: Ejemplo de una serie de 7 símbolos puntuales discriminables realizados mediante termoconformado. Fuente tactile Graphic toolkit. p. 71.

Imagen 32: Ejemplo de una serie de símbolos puntuales producibles desde cualquier proceso (Fuente: Tactile Graphics). p. 71.

Imagen 33: Ejemplo de una serie de símbolos puntuales reproducibles desde cualquier tipo de proceso (Fuente: Nolan & Morris). p. 71.

Imagen 34: Imagen de una serie de líneas discriminables entre ellas (Fuente: Nolan & Morris). p. 73.

Imagen 35: Imagen de diferentes texturas discriminables entre sí empleables en planos táctiles Fuente: Nolan & Morris. p. 74.

Imagen 36: Grupos de texturas discriminables para el uso en plano táctiles (Fuente-autor: The Braille Authority). p. 75.

Imagen 37: Plano táctil del Centro de Interpretación del Parque Natural del Delta de l'Ebre (Tarragona) realizado mediante técnicas artesanales. p. 76.

Imagen 38: Plano en relieve de Transports Metropolitans de Barcelona realizado en aluminio mecanizado. p. 77.

Imagen 39: Plano táctil termoconformado de América del Sur. p. 78.

Imagen 40: Plano táctil de una zona concreta de Barcelona realizado mediante microencapsulado. p. 79.

Imagen 41: Gráfico realizado en una ilustración de libro mediante el sistema de punzonado (embossed). p. 80.

Imagen 42: Detalle de Impresión en 3D policromada en plano táctil. p. 82.

Imagen 43: Símbolos táctiles propuestos por Lobben inspirados en la International Conference on Mobility Maps (Fuente: (Lobben, 2011)). p. 85.

Imagen 44: Algunos de los símbolos táctiles analizados por McCallum y su equipo con cierta complejidad volumétrica. p. 88.

Imagen 45: Imagen ilustrativa con los cuatro elementos conceptuales de diseño. p. 89.

Imagen 46: Imagen de diferentes líneas conceptuales que como elementos visuales de diseño se visibilizan de diferentes maneras (Autor: J. L. Navarro). p. 90.

Imagen 47: Imagen de los cuatro elementos de relación. De arriba a abajo: dirección, posición, espacio y gravedad. p. 91.

Imagen 48: Interpretación de las variables visuales de Bertin a los aspectos táctiles (Fuente: (Correa Silva, 2008)). p. 93.

Imagen 49: Imagen de símbolos pictóricos (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)). p. 94.

Imagen 50: Símbolos visuales de aspecto geométrico (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)). p. 95.

Imagen 51: Símbolos literales (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)). p. 96.

Imagen 52: Recurso de dejar espacio libre para evitar el ruido táctil que puedan producir la textura al solaparse con otros elementos del plano (Fuente: ADON (Goodrick, 1987)). p. 96.

Imagen 53: Plano táctil del Museu Marítim (Barcelona). p. 97.

Imagen 54: Detalle de leyenda con símbolos táctiles del plano en relieve del Museu Marítim (Barcelona). p. 98.

Imagen 55: Imagen de símbolo táctil indicador de alarma sobre botón de ascensor, como elemento traducido directamente de su aspecto visual al relieve. Su forma puede confundirse al tacto con el botón en relieve "0". p. 99.

Imagen 56: Detalle de símbolo en relieve que representa un Ascensor en plano táctil. Su composición gráfica corresponde a una convención visual. En tamaños pequeños este símbolo puede ser excesivamente complejo al tacto. p. 100.

Imagen 57: Fachada de la Casa Batlló. p. 116.

Imagen 58: Zona táctil de la Planta Noble de la Casa Batlló. p. 116.

Imagen 59: Acceso principal al Museu Marítim de Barcelona. p. 118.

Imagen 60: Conjunto de dispositivos táctiles situados en el Museu Marítim de Barcelona. p. 118.

Imagen 61: Imagen de algunas estructuras de casas ibéricas consolidadas en el yacimiento de La Bastida de les Alcusses en Moixent (Valencia). Autora de la fotografía: Marina Puyuelo. p. 120.

Imagen 62: Imagen de la maqueta táctil general situada en la entrada de La Bastida de Moixent (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo). p. 120.

Imagen 63: Imagen de un usuario realizando un recorrido real durante un experimento piloto. p. 122.

Imagen 64: Imagen de símbolos táctiles testeados en los primeros experimentos piloto. p. 123.

Imagen 65: Participantes en la experiencia explorando una maqueta táctil de detalle. p. 124.

Imagen 66: Imagen de un usuario realizando el experimento con una de las plantillas de las que constaba éste. p. 126.

Imagen 67: Imagen de participante memorizando a partir del tacto el orden de determinados símbolos. p. 128.

Imagen 68: Imagen del Experimento D, Plano táctil urbano. p. 129.

Imagen 69: Imagen del Experimento E, Plano táctil interior. p. 131.

Imagen 70: Imagen de una de las maquetas empleadas en el experimento (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo).. p. 132.

Imagen 71: Esquemas con las dos modalidades de la visita, la inferior se inicia sin haber tenido contacto con la maqueta-plano del conjunto. p. 133.

Imagen 72: Plano de planta con los ítems destacables del conjunto de La Bastida de Moixent. p. 135.

Imagen 73: Ejemplo de plantillas empleadas en el estudio p. 137.

Imagen 74: Imagen de los 4 símbolos seleccionados para su evaluación. p. 138.

Imagen 75: Imagen de algunos de los símbolos que han acompañado a los target en las plantillas. p. 138.

Imagen 76: Imagen de las plantillas empleadas en el experimento. p. 142.

Imagen 77: Imagen del Plano A microencapsulado empleado en el experimento. p. 145.

Imagen 78: Plano producido mediante Impresión en 3D y detalle de su leyenda. p. 146.

Imagen 79: Imagen virtual de algunos símbolos táctiles del Plano B p. 146.

Imagen 80: Leyenda del Plano A con detalle de 4 los símbolos evaluados. p. 147.

Imagen 81: Leyenda del Plano B con detalle ampliado de los símbolos evaluados. p. 148.

Imagen 82: Leyenda del Plano A p. 152.

Imagen 83: Leyenda del Plano B p. 153.

Imagen 84: Imagen del Plano táctil A. p. 154.

Imagen 85: Imagen del Plano táctil B. p. 154.

Imagen 86: Mapas cognitivos del participante 1. Mapa A y Mapa B. p. 164.

Imagen 87: Mapas cognitivos del Participante 2. p. 165.

Imagen 88: Mapas cognitivos del Participante 3. p. 167.

Imagen 89: Mapas cognitivos del Participante 4. p. 168.

Imagen 90: Mapas cognitivos del Participante 5. p. 170.

Imagen 91: Mapas cognitivos del Participante 6. p. 172.

Imagen 92: De izquierda a derecha: símbolo Fin del recorrido, Inicio del recorrido y Ascensor. p. 256.

Imagen 93: De izquierda a derecha símbolo Escalera termoconformado y en 3D. p. 259.

Imagen 94: Ejemplo de símbolo tridimensional (pirámide) termoconformado. p. 274.

Imagen 95: Imágenes de los símbolos empleados: “O” y “V” o cabeza de flecha. p. 300.

Imagen 96: Imágenes de los símbolos Pirámide y Anillo p. 301.

Imagen 97: Símbolos cuadrado a partir de la organización de prismas en sus vértices. p. 301.

Imagen 98: Símbolos "Elipse". p. 302.

Imagen 99: Símbolo "L". p. 302.

Imagen 100: Símbolos táctil "U". p. 303.

Imagen 101: Símbolo táctil en 3D, “Cilindro básico”. p. 303.

Imagen 102: Símbolo táctil en 3D, “Cilindro con corte superior inclinado”. p. 304.

Imagen 103: Símbolo táctil en 3D, “Cilindro fino”. p. 304.

Imagen 104: Símbolo táctil en 3D, “Cono básico”. p. 305.

Imagen 105: Símbolo táctil en 3D, “Cono invertido”. p. 305.

Imagen 106: Símbolo táctil en 3D, "Cubo". p. 306.

Imagen 107: Símbolo táctil en 3D, "Esfera". p. 306.

Imagen 108: Prisma de base rectangular. p. 307.

Imagen 109: Símbolo "rampa". p. 307.

Imagen 110: Pirámide. p. 308.

Imagen 111: Imagen de la plantilla: Test 1. p. 309.

Imagen 112: "V" o cabeza de flecha. p. 309.

Imagen 113: Imagen de la plantilla: Test 2. p. 310.

Imagen 114: Anillo. p. 310.

Imagen 115: Imagen de la plantilla: Test 3. p. 311.

Imagen 116: Símbolo táctil "O". p. 311.

Imagen 117: Imagen de la plantilla: Test 4. p. 312.

Imagen 118: Imagen de la plantilla Test 5. p. 313.

Imagen 119: Imagen de la plantilla: Test 6. p. 314.

Imagen 120: Circunferencia pequeña. p. 315.

Imagen 121: Símbolos táctil denominado "Ascensor". p. 316.

Imagen 122: Símbolo en forma de V mostrando dirección. p. 316.

Imagen 123: Textura regular. p. 317.

Imagen 124: Símbolo Escalera. p. 317.

Imagen 125: Símbolo formando una pareja de puntos en relieve. p. 317.

Imagen 126: Textura irregular. p. 318.

Imagen 127: Símbolo "O" termoconformado. p. 318.

Imagen 128: Símbolo "U". p. 318.

Imagen 129: Símbolo táctil "V", vista en planta. p. 318.

Imagen 130: Símbolo "O llena". p. 319.

Imagen 131: Símbolo táctil cilindro fino, vista en planta p. 319.

Imagen 132: Símbolos táctil elipse. p. 319.

Imagen 133: Símbolo táctil en 3D, Pirámide, vista en planta. p. 320.

Imagen 134: Símbolo táctil "cuadrado" configurado a partir de prismas en sus vértices. p. 320.

Imagen 135: Cono, vista en planta de símbolo en 3D. p. 320.

Imagen 136: Símbolo circular. p. 321.

Imagen 137: Símbolo Escalera 3D. p. 322.

Imagen 138: Textura irregular 3D. p. 323.

TABLAS

Tabla 1: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y experimentos. p. 103.

Tabla 2: Tabla resumen con las características de los experimentos. p. 113.

Tabla 3: Tabla resumen con los experimentos y materiales empleados en cada uno de ellos. p. 121.

Tabla 4: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y experimentos. p. 123.

Tabla 5: Resumen de las características de las plantillas-tests. p. 140.

Tabla 6: Tabla. Tests mezclados vs. no mezclados. p. 140.

Tabla 7: Tabla de segregación de la muestra por género. p. 143.

Tabla 8: Tabla de segregación de la muestra por tipología de usuario. p. 143.

Tabla 9: Tabla de segregación de la muestra por experiencia del usuario con el ámbito de lectura táctil. p. 143.

Tabla 10: Tabla resumen con los símbolos y sus características según el tipo de plano. p. 147.

Tabla 11: Tabla resumen de las tareas que se realizan en ambos planos. p. 148.

Tabla 12: Tabla de segregación de la muestra por género. p. 150.

Tabla 13: Tabla de segregación de la muestra por tipología de usuario. p. 151.

Tabla 14: Tabla de segregación de la muestra por experiencia del usuario con el ámbito de lectura táctil. p. 151.

Tabla 15: Tabla resumen de las tareas del Experimento E, Plano táctil interior. p. 156.

Tabla 16: Tabla con resultados de las preguntas 1 y 2. p. 161.

Tabla 17: Tabla con los resultados de las preguntas 1 y 2 en función de la participación o no en la experiencia. p. 162.

Tabla 18: Tabla resumen de los resultados del Participante 1. p. 164.

Tabla 19: Tabla resumen de los resultados del Participante 2. p. 166.

Tabla 20: Tabla resumen de los resultados del Participante 3. p. 167.

Tabla 21: Tabla resumen de los resultados del Participante 4. p. 169.

Tabla 22: Tabla resumen de los resultados del Participante 5. p. 171.

Tabla 23: Tabla resumen de los resultados del Participante 6. p. 173.

Tabla 24: Tabla resumen con los resultados de los 6 participantes. p. 174.

Tabla 25: Media de errores totales según la tipología de símbolos 2D o 3D. p. 179.

Tabla 26: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el perfil del usuario: Invidente, Deficiente visual y Vidente. p. 180.

Tabla 27: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el nivel de experiencia previa de los participantes. p. 181.

Tabla 28: Estadísticos descriptivos según la experiencia previa de los participantes. p. 181.

Tabla 29: Media de errores de lectura y porcentaje de aciertos según el símbolos táctil. p. 182.

Tabla 30: Medias y Desviación estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica. p. 187.

Tabla 31: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según el tipo de participante. p. 188.

Tabla 32: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la experiencia previa del participante. p. 189.

Tabla 33: Errores totales entre grupos en la realización de la Tarea 1. p. 192.

Tabla 34: Media de tiempos de localización en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4. p. 192.

Tabla 35: Media de tiempos de localización según la experiencia previa de los participantes en el Grupo 1. p. 193.

Tabla 36: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de usuarios dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4. p. 193.

Tabla 37: Tabla comparativa entre los errores cometidos en el Grupo 1 en función de la experiencia previa de los participantes con los dispositivos táctiles. p. 194.

Tabla 38: Media de tiempos de localización (Tareas 2, 3 y 4) en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2. p. 194.

Tabla 39: Tabla resumen con los tiempos medios de cada perfil de participante dentro del Grupo 2. p. 195.

Tabla 40: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2. p. 195.

Tabla 41: Media de errores cometidos dentro del Grupo 2 según el factor experiencia. p. 195.

Tabla 42: Estadísticos y p-valor de los tiempos empleados en la localización de símbolos (Tareas 2, 3 y 4) según el tipo de plano. p. 196.

Tabla 43: Media de errores cometidos en ambos grupos en las tareas 2, 3 y 4. p. 196.

Tabla 44: Tareas en las que se ha medido el tiempo de localización y errores cometidos cuando los participantes de diferentes grupos tuvieron que localizar los símbolos evaluados con diferentes características dependiendo del plano. p. 207.

Tabla 45: Distribución de tiempos medios de localización entre grupos en la realización de las Tareas 1, 4 y 7: Media y Desviación estándar. p. 207.

Tabla 46: Media de errores totales cometidos por cada grupo en la realización de las Tareas 1, 4 y 7: Media y Desviación estándar. p. 208.

Tabla 47: Tiempo medio en ambos grupos según su perfil en el CASO 1. p. 209.

Tabla 48: Tiempo medio en ambos grupos según su experiencia previa con los gráficos tangibles en el CASO 1. p. 209.

Tabla 49: Error medio en ambos grupos según la tipología de participante en el CASO 1. p. 210.

Tabla 50: Error medio en ambos grupos según la experiencia de los participantes en el CASO 1. p. 210.

Tabla 51: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el tipo de participantes dentro del Grupo 1. p. 211.

Tabla 52: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el nivel de experiencia previa de los participantes del Grupo 1. p. 211.

Tabla 53: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según el tipo de participante p. 211.

Tabla 54: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes. p. 211.

Tabla 55: Tabla de distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su perfil, dentro del Grupo 2 en el Caso 1. p. 212.

Tabla 56: Tabla de distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su experiencia previa, dentro del Grupo 2 en el Caso 1. p. 212.

Tabla 57: Media de errores cometidas por los participantes, según su perfil, del Grupo 2 en el Caso 1. p. 212.

Tabla 58: Media de errores cometidas por los participantes, según su experiencia previa, del Grupo 2 en el Caso 1. p. 213.

Tabla 59: Tareas en las que se ha medido el tiempo de localización y los errores cometidos cuando los participantes de ambos grupos tuvieron que encontrar símbolos táctiles con características similares (2D vs. 2D) en los dos planos. p. 213.

Tabla 60: Distribución de tiempos de localización entre grupos en el Caso 2: Media y Desviación estándar. p. 213.

Tabla 61: Media de errores totales cometidos por cada grupo. Media y Desviación estándar. p. 213.

Tabla 62: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante. p. 215.

Tabla 63: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según la experiencia previa del participante. p. 215.

Tabla 64: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según el perfil de participante. p. 216.

Tabla 65: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 216.

Tabla 66: Tiempo medio empleado en el Caso 2 dentro del Grupo 1 según el perfil de participante. p. 217.

Tabla 67: Tiempo medio empleado en Caso 2 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes. p. 217.

Tabla 68: Errores medio cometidos en el Caso 2 según el perfil del participante dentro del Grupo 1. p. 217.

Tabla 69: Errores medio cometidos en el Caso 2 según el perfil la experiencia previa de los participantes dentro del Grupo 1. p. 217.

Tabla 70: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 entre perfiles de participantes. p. 218.

Tabla 71: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 218.

Tabla 72: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 entre perfiles de participantes. p. 218.

Tabla 73: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 según la experiencia previa de los participantes. p. 218.

Tabla 74: Tareas en las que se ha medido los errores de discriminación de los participantes al contar símbolos de diferentes características formales (2D vs. 3D) en función del plano. p. 219.

Tabla 75: Media de errores totales cometidos por cada grupo en el Caso 3. Media y Desviación estándar. p. 219.

Tabla 76: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante p. 221.

Tabla 77: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según la experiencia del participante. p. 221.

Tabla 78: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según el perfil de participante. p. 221.

Tabla 79: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante. p. 222.

Tabla 80: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 2 según el perfil de participante. p. 222.

Tabla 81: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante. p. 222.

Tabla 82: Relación entre la tipología de símbolo evaluado y el carácter de sus contenidos. p. 223.

Tabla 83: Tabla resumen que indica en un recuadro rojo los símbolos seleccionados en este caso. p. 223.

Tabla 84: Media de errores dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 224.

Tabla 85: Datos estadísticos de los contrastes entre pares de símbolos. p. 224.

Tabla 86: Media de los errores de localización dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 225.

Tabla 87: Datos estadísticos. p. 225.

Tabla 88: Media de falsos aciertos dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor). p. 225.

Tabla 89: Estadísticos. p. 225.

Tabla 90: Tabla resumen con las Tareas en las que se ha medido los errores de discriminación de los participantes .al contar símbolos de diferentes características formales (2D vs. 3D) en función del plano, con especial atención a las Tareas 1, 3 y 4 en el Plano B por considerarse estos símbolos “traducciones directas” de aspectos visuales a táctiles. p. 226.

Tabla 91: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor; y media de errores totales entre grupos en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor. p. 227.

Tabla 92: Datos estadísticos. p. 227.

Tabla 93: Diversos tipos de errores en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor organizados según grupos. p. 228.

Tabla 94: Datos estadísticos. p. 228.

Tabla 95: Tabla resumen con las tareas del Caso 1 del Experimento E, Plano táctil interior. p. 229.

Tabla 96: Tabla resumen con las tareas del Caso 2. p. 241.

Tabla 97: Tabla resumen con las tareas del Caso 3 dentro del Experimento E, Plano táctil interior. p. 250.

Tabla 98: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y preguntas de investigación. p. 261.

Tabla 99: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la primera hipótesis de trabajo. p. 263.

Tabla 100: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la segunda hipótesis de trabajo. En marco de diferente color se aprecia el objetivo conseguido y su correspondiente pregunta de investigación. p. 265.

Tabla 101: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la segunda hipótesis de trabajo. En marco de diferente color se aprecia los objetivos conseguidos en este experimento y sus correspondientes preguntas de investigación. p. 267.

Tabla 102: Tabla resumen de la última hipótesis de trabajo y su relación con el objetivo y pregunta de investigación correspondiente. La tabla remarca los hitos cumplidos en este experimento. p. 268.

Tabla 103: Tabla resumen de las hipótesis cumplidas. p. 269.

MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

A continuación se describirán algunos aspectos importantes para comprender el contexto de este estudio. El hilo conductor de los contenidos que se van a exponer gira alrededor de los usuarios con discapacidad visual y de los dispositivos táctiles para el aprendizaje de fenómenos de naturaleza gráfica.

De esta manera, el marco teórico que aquí se trata abarca diversas áreas del conocimiento, es multidisciplinar, algunas disciplinas presentan un papel más intenso que otras. Por un lado, este trabajo presenta una relación genérica con disciplinas como el diseño inclusivo, la ergonomía o los estudios culturales; y en un contexto más específico con estudios de psicología de la percepción, de geografía (cartografía), ciencias de la educación, así como con trabajos específicos sobre la propia idiosincrasia del fenómeno de la discapacidad visual.

La geografía (cartografía), la psicología de la percepción y las ciencias de la educación abordan la cuestión de cómo mejorar ciertos productos táctiles para hacer su uso más eficiente por parte de usuarios con discapacidad visual. Estas disciplinas denotan una larga tradición en investigación dentro del marco didáctico y educativo empleando estrategias e instrumentos orientados a personas invidentes y con deficiencia visual, incluyendo la elaboración/promoción de gráficos tangibles. El hecho de que gran parte de la literatura relativa al tema se encuentre realizada desde el ámbito de la Geografía (Blades, Ungar, & Spencer, 2010; Golledge, 1993; Meihoefer, 1969; Perkins, 2002; Renner, 1993; Rowell & Ungar, 2003; Spencer, Morsel, Ungar, Pike, & Blades, 1992; Loch, 2008), de la Psicología (Lillo Jover, 2008; Huertas & Ochaíta, 1992; Kennedy, 2005; Lillo Jover et al., 2008; Ochaíta & Huertas, 1988; Krueger, 1982) y de las Ciencias de la Educación (Bardisa, 1992; De Lobo, 2010; Elliott, 2007; Nolan & Morris, 1971; Sánchez & Sáenz, 2008; VV. AA, 2008) refuerza la idea de que éstas son sin duda esferas del conocimiento que abordan la problemática aquí tratada con un especial interés. Los estudios culturales, muy relacionados al mismo tiempo con las ciencias de la educación (Consuegra Cano, 1997; Consuegra Cano, 2002; Espinosa Ruiz & Guijarro Carratalá, 2005; Gratacós Masanella, 2006; ICOM, 1991; Juncá Ubierna, 2008; Salmes, 2007; VV. AA., 1991), también aportan un conocimiento muy valioso al desarrollo de este estudio, ya que abordan la cuestión de las estrategias y productos para la comprensión del patrimonio con una clara vocación integradora y social, y sirven a esta tesis como marco desde el cual desarrollar soluciones aplicadas, y no sólo teóricas.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Contrasta, por otro lado, la escasa aportación a esta materia en el campo del diseño de productos, sobretodo atendiendo, a que desde este marco se promueve, entre otros, un tipo de estudios y productos bajo el denominador común de la inclusividad y el uso universal y para todos (Clarkson, Coleman, Keates, & Lebbon, 2003; Wolfgang & Ostroff, 2003). Así, conviene subrayar que, en la disciplina del diseño de productos, apenas existe un foro de investigación convenientemente focalizado hacia, por ejemplo, el análisis, la evaluación, o los requerimientos proyectuales de estos objetos. Siendo, por lo tanto, un área un tanto descuidada por este campo del conocimiento y que merece, a nuestro entender, una mayor atención. En este sentido, apenas el equipo de Yong-Hsiang Tu y sus colaboradores han realizado estudios desde la óptica del diseño industrial en el *Institute of Industrial Design* en la Universidad de Tatung, Taiwan (Tu, Wu, & Yeh, 2002; Tu et al., 2011).

Además, es conveniente señalar que un foco muy importante de información relativa a la cuestión proviene de fuentes cuya objetivo en sí mismo es el estudio de las personas con discapacidad visual, así las revistas *International Journal of Visual Impairment & Blindness* en Estados Unidos de América (Holmes & Arditi, 1998; Jehoel, McCallum, Rowell, & Ungar, 2005; Lambert & Lederman, 1989; Lockwood, 1995; Robertson & Dunne, 1998) y la *British Journal of Visual Impairment and Blindness* en Reino Unido (Aldrich, Sheppard, & Hindle, 2002; Handa, Dairoku, & Toriyama, 2010; Jehoel, McCallum, Rowell, & Ungar, 2006; McCallum, Ungar, & Jehoel, 2006; Rowell & Ungar, 2003; Spencer & Travis, 1985) son dos de los focos más significativos de los que extraer conocimiento respecto la planimetría táctil y su derivados, aunque no tanto sobre el acceso a contenidos culturales y patrimonio. Del mismo modo, cabe comentar las publicaciones de la *International Cartographic Association*, entre las que destacan las actas de la *International Cartographic Conference*, que desde 1993, cada dos años, viene regularmente tratando la cuestión de la accesibilidad en usuarios con discapacidad visual en el ámbito de la cartografía (Amenguel & Cuppi, 1997; Simonnet, Jacobson, Vieilledent, & Tisseau, 2009; Krauze-Tomczyk & Korycka-Skorupa, 2001).

1.1. DISEÑO INCLUSIVO

Este estudio, en un marco general, se contextualiza dentro de la filosofía de Diseño Inclusivo, estrechamente ligada al concepto de usabilidad. En el marco de diseño de productos, se entiende como usabilidad, según las normas ISO 13407, el ámbito en el cual un producto puede ser utilizado por usuarios específicos con el fin de conseguir objetivos específicos tales como eficacia, eficiencia y satisfacción en contextos concretos de uso (AENOR, 2000).

Dentro del ámbito del diseño de productos es un hecho que existe una tendencia que trata de integrar la enorme diversidad de usuarios en la concepción de productos. Se trata de la filosofía del Diseño Universal (DU) (Wolfgang & Ostroff, 2003). En otros enclaves geográficos se le denomina también Diseño Inclusivo (Clarkson et al., 2003; Keates & Clarkson, 2003) o Diseño para Todos (Barnes, 2011). Esta filosofía en su esencia se centra en usuarios con algún tipo de discapacidad, ya que si determinadas personas, con habilidades reducidas (Imagen 1), pueden hacer uso de un producto en condiciones de usabilidad óptima, es decir, en condiciones de eficiencia, eficacia y seguridad, otros usuarios cuyas capacidades no se encuentren mermadas también podrán beneficiarse del mismo producto. Así, el DU propone el reto de diseñar objetos para la diversidad atendiendo a que cada persona es única en edad, tamaño, habilidades, talento y preferencias.



Imagen 1: Las personas mayores son un ejemplo de pérdida de capacidades debido al proceso de envejecimiento.

En esta situación resulta difícil atender todas las necesidades y capacidades humanas. Se ha-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

ce preciso, por lo tanto, generar criterios y principios que aborden la problemática concreta de cómo evaluar productos bajo parámetros de usabilidad y orientados, al mismo tiempo, a las múltiples diversidades cognitivas y físicas de las personas.

De modo introductorio, los principios básicos del DU nacen en 1997 y se centran en aspectos cuyo objetivo, principalmente, es proporcionar igualdad entre personas y mejorar la usabilidad de los productos. Estos principios, básicamente, se resumen en los siguientes siete pautas aplicables a productos, servicios y procesos (Wolfgang & Ostroff, 2003). Éstos son:

- 1) El uso universal, para todos, es decir, el diseño debe adaptarse a personas con capacidades distintas.
- 2) El diseño adoptado debe ser flexible en su uso y permitir emplearlo desde diferentes opciones según las preferencias del usuario.
- 3) El producto, servicio o proceso debe tener un uso simple e intuitivo.
- 4) La información que de él se derive debe ser fácilmente perceptible y reconocible. En este estudio, con un especial interés hacia los mensajes interpretados desde la óptica del sentido del tacto.
- 5) El producto, servicio o proceso debe tolerar además los errores o el mal uso sin afectar a la seguridad de las personas.
- 6) Los requerimientos de diseño deben prever un uso con esfuerzos mínimos, tanto mentales, como físicos.
- 7) Por último, las dimensiones y el espacio del diseño deben ser suficientes para un acceso, alcance, manipulación y mantenimiento adecuado.

Estos siete principios representan un reto para el diseño. Aunar todas estas cualidades en un producto, servicio o proceso no es una tarea sencilla. Conseguir un objeto que plasme todos estos principios es obtener una solución ideal, es decir, para todos y sin exclusión de ningún colectivo de usuarios. Para conseguir este reto cabe ir dando pequeños pasos, estudiar, investigar y experimentar diversas soluciones con los usuarios más afectados e ir, de esta forma, mejorando diversos aspectos de uso que conducen hacia el cumplimiento de todos estos principios. Este estudio pretende ser de ayuda en este aspecto, en intentar dar un paso hacia adelante, es decir, hacia la consecución de un uso inclusivo de los planos táctiles.

1.2. LA ERGONOMÍA Y LOS DISPOSITIVOS TÁCTILES

Desde el ámbito de la ergonomía y los factores humanos se ha generado un conocimiento muy valioso relativo al diseño de displays. Los displays, como por ejemplo los paneles de mandos de muchos aparatos electrónicos, representan la información que deben exponer por vías visuales, táctiles y sonoras. Un plano táctil puede entenderse como un display ya que expone información (mensajes) mediante un código de símbolos tactovisuales y en algunos casos, además, sonoros (audiotáctiles).

Los displays pueden clasificarse según la tipología de información que presentan: dinámica o estática. Dinámica en el caso de que el mensaje pueda variar con el paso del tiempo, por ejemplo, la pantalla de un radar o un simple semáforo; y estática si la información se presenta en código alfanumérico, como es el caso de los planos y símbolos táctiles que aquí se estudian. En realidad, esta clasificación se puede detallar aún más, ya que la información expresada en un producto puede ser cualitativa, cuantitativa, señales de alerta o información representacional entre otros casos (Sanders, 1993b). Concretando en el caso de la información que muestra un plano táctil se puede señalar que la información de éste es estática y más concretamente representacional.

Por otro lado, desde la ergonomía se ha desarrollado extensamente los aspectos de evaluación de estos objetos. En este sentido, se realizan tests de usabilidad con los prototipos pertinentes cuyas variables dependientes suelen ser el tiempo y los errores cometidos en la identificación de los mensajes, de tal manera que a partir de un ratio de un 85% de repuestas correctas, con la condición de que sólo un 5% sean respuestas incorrectas pero críticas, en los experimentos realizados para analizar el uso en un prototipo, se puede considerar que la tarea o ítem analizado es aceptable para su uso en un display o producto final (Lehto & Buck, 2008). En cuanto al tiempo empleado en realizar las tareas con un prototipo se entiende que un menor tiempo en realizar las tareas indica una mejora en el uso de éste en relación a la ejecución de la misma tarea realizada en un mayor intervalo de tiempo.

Además, la información aportada por la ergonomía sobre las dimensiones del cuerpo humano (Antropometría)(Pheasant & Haslegrave, 2006) y concretamente, para este estudio, el de las manos, los dedos y el alcance de operativo con los brazos también son de sumo interés para el diseño de planos táctiles.

En cualquier caso, esta disciplina nos enseña que es posible emplear elementos volumétricos

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

en tareas que requieren, entre otros, un alto grado de discriminación táctil. Es el caso de los mandos de control de un avión. Éstos deben ser distinguibles y discriminables al tacto para los pilotos con el fin de evitar errores fatales. Estos controles emplean botoneras que la disciplina de la ergonomía se ha encargado de estudiar desde la óptica de la eficiencia de uso (Sanders, 1993a), y también incluso desde la perspectiva militar (Self, Van Erp, Eriksson, & Elliott, 2008)(Imagen 2). Por todo esto conviene no perder la perspectiva que los estudios desde la ergonomía o los factores humanos aporta a este estudio ya que el conocimiento y la experiencia de ésta disciplina sirve también de marco para el diseño de productos que requieren interacción táctil.



Imagen 2: Imagen de un control de mandos de avión en el que se observa una enorme complejidad. La discriminación táctil juega un papel fundamental en estos casos (Fuente: Galería de Multiply Leadership)

1.3. EL PATRIMONIO Y LA ACCESIBILIDAD A LA CULTURA

Por otra parte, en el marco teórico introductorio a la problemática de este estudio, cabe hablar del acceso al patrimonio cultural para el disfrute por parte de personas invidentes o con deficiencia visual. En este sentido, este estudio se centra en aspectos únicamente de orientación y comprensión del espacio y no tanto en los didácticos, conocedores de que el primer paso hacia un acceso inclusivo a la cultura parte de la posibilidad de integrarse en el marco medio ambiental pertinente, pero también en comprender sus contenidos. Es decir, en interesarse por el conocimiento que exponen los bienes patrimoniales, en tanto es común que estos se encuentren mediatizados por instituciones que velan por su mantenimiento y que gestionan su visita como un entretenimiento cultural.

La interpretación del patrimonio es un área básica para la divulgación de éste, pero la

comprensión de un bien patrimonial no es posible sin la interpretación del entorno real del que forma parte (Ibáñez, de Aberasturi, & Noarbe, 2005), siguiendo los postulados del denominado Aprendizaje situado (Scribner, 1986). Por otro lado, es evidente que el patrimonio histórico es un bien público. Juntamente con este interés de carácter público, es además un valor cultural integrado por diferentes categorías de bienes y estudiado desde diferentes puntos de vista. Facilitar el acceso al patrimonio es una cuestión de sentido común.

El marco jurídico general en el ámbito urbanístico distingue, con el fin de tutelar el proceso de integración y conservación del patrimonio, entre diferentes categorías de bienes culturales (Ibáñez & del Rosario, 1994) tales como:

- Monumentos.
- Lugares de interés etnográfico.
- Jardines históricos.
- Sitios históricos y zonas arqueológicas.

La Unesco, atendiendo a los documentos de La Haya (1954) y a las Conferencias Generales celebradas en París (1968-2003), concretamente, en este último caso, a la Convención para la protección del patrimonio mundial, cultural y natural establece una primera clasificación genérica de las diferentes expresiones del patrimonio, como son (UNESCO, 1972):

- El cultural (material e inmaterial).
- El Natural.
- El Patrimonio en situaciones de conflicto armado.

Esta tesis toma como base para sus experimentos el patrimonio cultural material, desde el cual analiza la validez de algunos dispositivos táctiles orientados sobretudo a personas con discapacidad visual.

1.3.1. ¿USUARIOS O VISITANTES?

Por otra parte, es conveniente reflexionar, en el caso de la interpretación del patrimonio, sobre aspectos que matizan el rol del usuario cuando visita estos centros en los que se divulga la cultura.

El usuario que visita un lugar patrimonial, sea una persona con discapacidad o no, se convierte en un “visitante” desde la óptica de los estudios mencionados anteriormente. Este hecho implica el reconocimiento de un rol específico dentro de una actividad que se caracteriza por su temporalidad, por implicar en sí misma una experiencia que promueve el aprendizaje y por realizarse mayormente durante el tiempo de ocio y entretenimiento, permitiendo al sujeto que la realiza la elección voluntaria de los entornos del patrimonio más interesantes a sus preferencias.

En este sentido, muchas de los factores de control que se emplean en los estudios sobre visitantes son comunes: la edad, el género, su formación, etc. Pero una de los principales factores que aseguran que la experiencia de la visita y el aprendizaje del lugar sean satisfactorios es el propio grado de motivación del usuario (visitante) ante una actividad de este tipo. En este sentido los factores motivacionales incluyen, por un lado, características personales e intransferibles, como la experiencia previa con la temática o las preferencias por disfrutar sólo o acompañado de la visita y características, por otro lado, situacionales que dependen en gran medida del entorno y su confort ambiental (Packer & Ballantyne, 2002) como el ruido, la temperatura, la luz, contar con dispositivos de exposición adecuados, la densidad de público, etc.

Para mejorar la experiencia de la visita, la escenificación debe ser clara, apropiada, coherente, bien señalizada y debe estar dotada de un buen sistema de orientación al inicio de la experiencia, de lo contrario se pueden conseguir efectos no deseados como ansiedad o frustración en el visitante. Equilibrar ambos aspectos, el cognitivo o personal y el ambiental, es primordial para asegurar el éxito en la experiencia de la visita a un lugar patrimonial. Así, el museo, como lugar paradigmático en el que se expresa el legado cultural, es un espacio de suma importancia en el que se debe transmitir la información de manera interesante y atractiva para posteriormente ser interpretada por el visitante. Esta interpretación no sólo tiene un valor informacional, sino también educativo y pedagógico dentro de un marco didáctico que promueve el aprendizaje como un entretenimiento y que, hoy en día, ya incluye numerosos productos que emplean las últimas tecnologías audiovisuales y de la comunicación. Si bien es cierto que un mayor interés o motivación del usuario conlleva una mayor posibilidad de aprendizaje, no queda tan claro que a un mayor nivel de

entretenimiento exista una correspondencia similar, el aprendizaje y el disfrute no tienen porqué estar relacionados (Moscardo & Pearce, 1986).

Pero reducir a las entidades museísticas a centros de interpretación de la cultura sería un error, otros espacios similares tienen un peso específico importante en la difusión de la cultura mediante el ocio y el aprendizaje voluntario. De esta manera, parques naturales, monumentos y centros de ciudades históricos o acontecimientos derivados del folclore son sólo algunos de los posibles marcos en los que se enraízan las condiciones perfectas para promover un aprendizaje a partir de un contacto directo y real con el patrimonio cultural. La dimensión del recorrido de la visita y su relación con la fatiga, la posibilidad de inspeccionar el lugar y aprender de él, la variedad de estrategias expuestas para el aprendizaje, la posibilidad de participación, el carácter y popularidad del patronazgo o el programa cultural que muestra cualquier organismo gestor de estos centros, son algunos otros factores que además de los motivacionales afectan a la experiencia de la visita, haciendo memorable o no esta actividad (Moscardo & Pearce, 1986).

En este marco se expresan multitud de personas, desde docentes que hacen uso de los escenarios patrimoniales para realizar actividades con sus estudiantes, gestores que tratan de impulsar sus centros, profesionales que se encargan de su uso y mantenimiento, comisarios de exposiciones que promueven propuestas divulgativas, diseñadores que adecúan estos entornos y sus productos y un largo etcétera que incluiría cualquier persona que directa o indirectamente tratase con actividades de este tipo por algún motivo u otro. Todos estos colectivos poseen una visión particular del mismo fenómeno, algunos de ellos con una perspectiva más holística y amplia que otros, como es el caso de los gestores (Estepa Giménez, Ávila Ruiz, & Ruiz Fernández, 2007), quiénes por su papel pueden observar esta actividad desde una posición integradora de disciplinas. En todo caso, y entre este amplio entramado humano, el rol central lo juegan sus visitantes, es decir, aquellos usuarios que directamente experimentan con su visita los programas ofertados por las instituciones que velan por la conservación del patrimonio y su divulgación. Éstos orientan su visita según sus propias necesidades curriculares o de ocio, independientemente de su estatus económico, por ejemplo Smith y Wolf del *Metropolitan Museum of Art* de Nueva York exponen, a través de sus estudios, que el perfil del visitante de este museo es variado: desde personas conocedoras del arte, que saben lo que quieren ver, hasta colectivos abiertos a la oferta del museo, el rol económico no parece ser determinante, en tanto muchas de las visitas las realizan estudiantes sin ingresos (Smith & Wolf, 1996).

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

Ahora bien, una de la mayores preocupaciones de los gestores de estos centros es asegurar un número de visitas que amortice el esfuerzo empleado en la difusión de sus programas, de ahí que incluso parece interesante no sólo caracterizar el perfil de las personas que los visitan, sino también el de aquellos que no lo hacen, para conocer el motivo y reorientar estrategias de apertura a un público más amplio. En un país como Alemania, $\frac{3}{4}$ partes de la población no visitan museos y lo sorprendente del caso es que algunos estudios no identifican diferencias significativas entre los visitantes y los no visitantes (Kirchberg, 1996), de ahí que la estrategia de “popularizar” la información contenida para abarcar más público tampoco sea la más adecuada.

Por otro lado, los centros en los que se expone cultura como *leitmotiv* se pueden dividir según el tratamiento que hagan de sus visitantes. Doering explica que hay tres grupos (Doering, 1999), en primer lugar, los que exponen sus contenidos pensando en el visitante como un “extraño”, un usuario para el cual es un privilegio simplemente estar y observar en el lugar patrimonial. La estrategia que emplean estos centros es principalmente conservacionista, basada en la seguridad de la obra e incluso en normas morales como vestirse adecuadamente. El propio Vaticano es un claro ejemplo de cómo una masa ingente de personas visita diariamente su espacio para ver las obras que se guardan en él simplemente por el propio privilegio de verlas y de estar en el epicentro del cristianismo (Imagen 3).

En segundo lugar, se puede citar aquellos lugares en los que el fenómeno de la visita se trata en términos de “huésped”, es decir, la gestión de estos centros se basa en una línea didáctica prácticamente unidireccional que permite al visitante recibir la información de manera poco flexible y con escasa posibilidad de interacción. La mayor parte de los centros se encontrarían en esta categoría.

Por último, una visión más contemporánea del asunto incluye la percepción del visitante como un cliente, es decir, como un tipo de persona al que hay que entender sus necesidades y requerimientos. Muchos centros pioneros actuales trabajan en esta línea en la que el visitante es el centro de todo el sistema. De ahí que por ejemplo, convenga plantear exposiciones escuchando la voz del usuario, además de los especialistas y profesionales. En este sentido, toman especial relevancia distinguir en que no sólo se atienden a las necesidades del usuario que emplea estos lugares tan singulares, sino las de su rol como cliente, convirtiendo el escenario de las propuestas culturales en un espacio competitivo entre centros por la captación de visitas para asegurar su éxito y supervivencia.



Imagen 3: Imagen de la Plaza de San Pedro en el Vaticano.

La cuestión es que el pasado histórico, el patrimonio natural y construido, material e inmaterial, se han convertido en un capital importante para cualquier territorio que se precie, entendiendo la denominación de capital en toda su extensión, es decir, añadiendo el ámbito económico o mercantilista al ya asimilado como cultural. Evidentemente este aspecto genera controversia y a su vez suscita una paradoja entre la lógica política de creación de identidad a través del patrimonio como símbolo identitario de una cultura y su encaje como “objeto de consumo” (Regueira, 2002).

Desde el prisma de los estudios de turismo y marketing se atiende a esta óptica en la que cinco elementos como la imagen, la accesibilidad (transportes, alojamiento...), los servicios, las atracciones y el precio son los ingredientes fundamentales. Así, calidad del servicio, lealtad, satisfacción del cliente son algunos de los nuevos tópicos procedentes de una visión de mercado que se considera incipiente en la gestión del patrimonio y centros museísticos (Žabkar, Brenčič, & Dmitrović, 2010) y que aunque sometida a todo tipo de críticas promueve el desarrollo de nuevos productos, flexibles y adaptados a las necesidades de los clientes-usuarios-visitantes (Cheverst, Davies, Mitchell, Friday, & Efstratiou, 2000). Por tanto, el pasado puede entenderse como un recurso turístico a explotar y a ofrecer a los visitantes, “Vender el pasado de variadas formas se ha convertido hoy día en uno de los sectores mayores y más rentables de la industria turística, en

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

múltiples y diferentes contextos por todo el mundo” (Romero Moragas, 1994), de hecho esta actividad es uno de los segmentos turísticos sujetos a una mayor tasa de crecimiento anual (García Hernández, 2000). El “turista patrimonial” es una persona que en sus vacaciones o tiempo libre decide realizar actividades como pasear por las calles o visitar museos, palacios o iglesias patrimoniales, entre otros, como dice Carlos Romero:

“La característica predominante del turista patrimonial es que la mayoría pretende con su visita a la “Ciudad Histórica”, un pasatiempo general, para un día de ocio o durante sus vacaciones. Por tanto, una presentación atractiva de sus calles, monumentos, museos, etc., pasa a ser tan importante como el valor histórico del patrimonio en sí mismo” (Romero Moragas, 1994).

De esta manera mantener un equilibrio entre los cinco elementos nombrados es una forma de fomentar el turismo y con ello aumentar las visitas a los entornos del patrimonio, aunque la accesibilidad según se entiende en estos estudios no se presenta en toda su extensión, debería quedar implícito atender también a estrategias que integren a las personas con discapacidad. En cualquier caso, es evidente que el turismo cultural tiene un impacto económico sustancial, pero también acarrea cierto impacto social y de sostenibilidad (García Hernández, 2000).

1.3.2. DISPOSITIVOS INCLUSIVOS Y ACCESIBILIDAD AL PATRIMONIO

Dentro del propio mundo del patrimonio y la museología existen numerosos enfoques de estudio que de alguna manera hacen referencia a estos dispositivos orientados a personas con ceguera o deficiencia visual. Los dispositivos táctiles son entendidos como instrumentos didácticos de apoyo a la visita de museos y espacios de divulgación de la cultura. Consuegra Cano cita los tres más extendidos para facilitar la comprensión de los contenidos por parte del colectivo de invidentes y personas con deficiencia visual (Consuegra Cano, 2002):

- Las láminas en relieve, dibujos y diagramas táctiles.
- Las maquetas (Imagen 4) y los planos en relieve (Imagen 5).
- Los modelos (Imagen 6).

Considerando el modelo como una copia del original a escala (Imagen 6), y las maquetas como versiones adaptadas al tacto en las que el tamaño y la cantidad de información a exponer son determinantes para que sus resultados sean óptimos.

Actualmente, por dispositivos táctiles también entendemos aquellos con carácter tecnológico que permiten una interacción háptica con el sujeto, es el caso de las denominadas *tablet's* o *smartphones* entre otros.

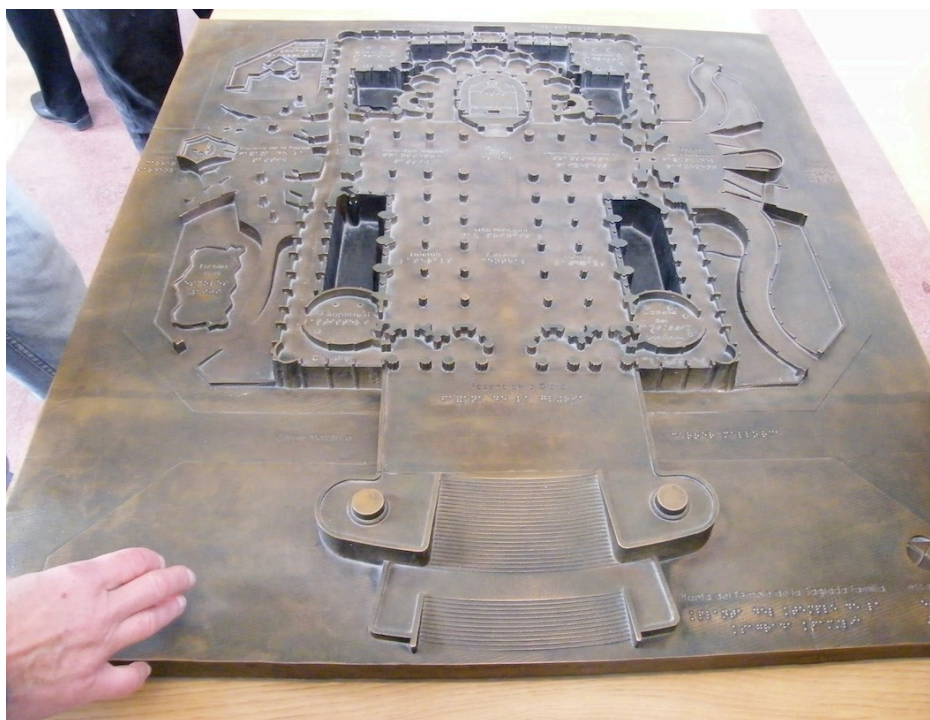


Imagen 4: Maqueta táctil del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia en Barcelona.

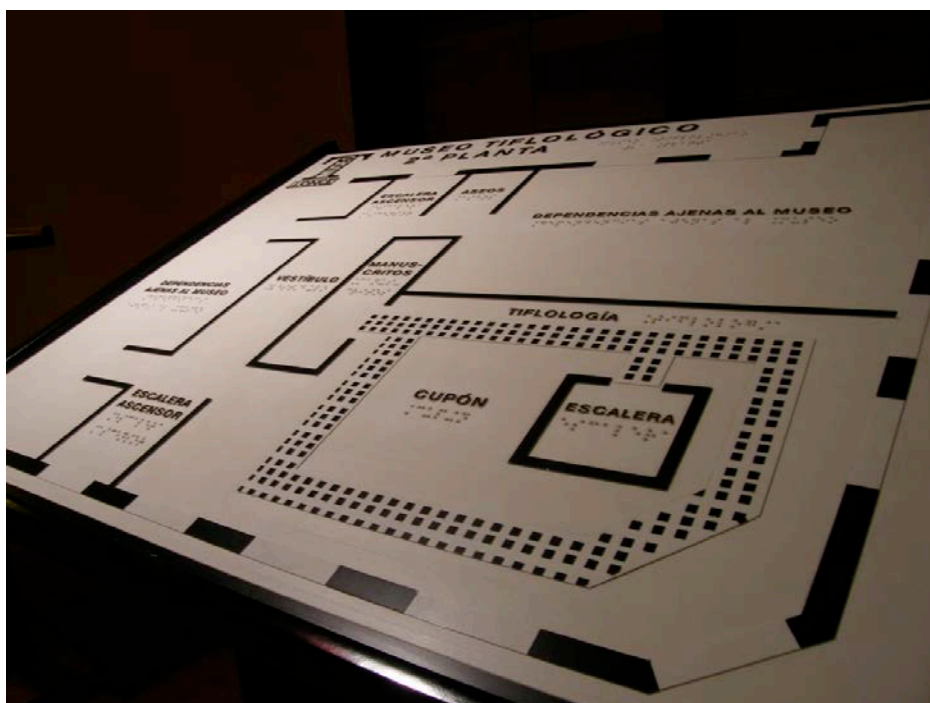


Imagen 5: Plano táctil del Museo Tifológico de la ONCE en Madrid.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES



Imagen 6: Modelo táctil de la catedral de Santiago de Compostela del Museo Tiflológico de la ONCE.

El estudio que aquí se describe se centra en los planos y maquetas en relieve según se podrá observar en el apartado de experimentos ([Véase ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL en página 121](#)). Aunque existen otras estrategias para facilitar el acceso y la comprensión de los contenidos que se exponen en centros de interpretación, museos y exposiciones visitables por todo tipo de público. De tal modo, que los dispositivos aquí tratados son sólo un complemento de un sistema más amplio para el aprendizaje y la accesibilidad al patrimonio en el que caben instrumentos y actuaciones de carácter físico y conceptual. De carácter físico porque, aunque no se aborde en este estudio, cabe adaptar las instalaciones, entre otros, en sus accesos, ascensores, iluminación, pavimentación, recorridos interiores y elementos de comunicación adecuados (VV. AA., 2003); y de carácter conceptual porque los contenidos deben también expresarse por canales sonoros y táctiles, tanto la información textual, como la gráfica, con el fin de no excluir a nadie de su disfrute.

Algunos de los materiales de apoyo más extendidos en este tipo de lugares son las audioguías

para invidentes (Imagen 7), pero la lupas de ampliación y magnificadores de pantalla (Salmét, 2007) también resultan útiles para las personas con restos visuales, así como los productos fruto de los avances técnicos y tecnológicos, tales como las aplicaciones de la denominada realidad aumentada, aún en proceso de investigación y por lo tanto de implementación para el público invidente (Agostaro, Genco, & Sorce, 2004); o el dispositivo comercializado por *Sensable Inc. Phantom*, display háptico para la interacción con imágenes gráficas virtuales (Sjöström, Danielsson, Magnusson, & Rassmus-Gröhn, 2003; Massie & Salisbury, 1994); o incluso otros tantos dispositivos derivados de las nuevas tecnologías de la información y comunicación como los que expone John Gill en sus estudios (Gill, 2007).

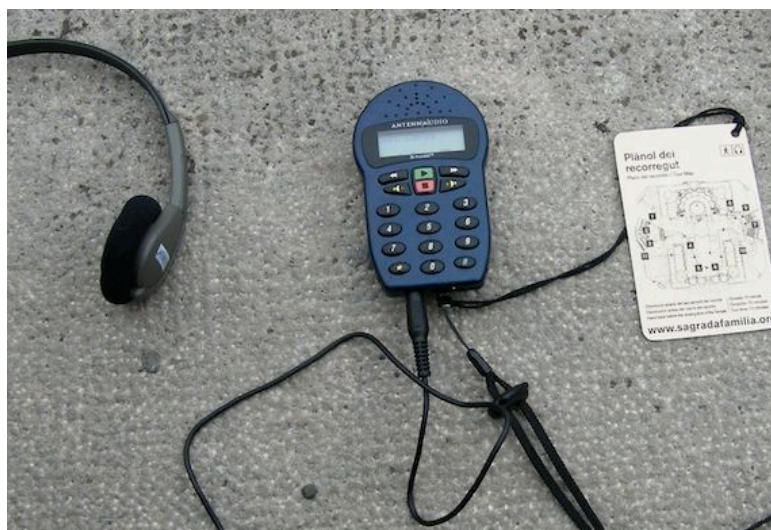


Imagen 7: Audioguía con auriculares y plano visual de la visita el templo de la Sagrada Familia en Barcelona.

Desde la perspectiva general del acceso al patrimonio, en en contexto europeo, tal vez sea Francia la pionera en tratar este tema con más sensibilidad, aspecto, que por otro lado, queda aún irresuelto en la actualidad, aunque en otros enclaves como Reino Unido, Bélgica, Grecia o Hungría cuentan con una experiencia dilatada (VV. AA., 1991).

En Estados Unidos de América las organizaciones *Art Education for the Blind* fundada en 1987, la *American Printing House for the Blind* (APH) fundada en 1858, y la *American Foundation of the Blind*, fundada en 1921, se encargan de velar por la mejora de la calidad de vida de este colectivo de visitantes atendiendo en sus actividades tanto la investigación y la divulgación de material accesible, como el asesoramiento en la programación didáctica de museos. En este sentido, el tema de la accesibilidad a los museos abarca un espectro geográfico muy amplio en el que no

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

faltan ejemplos de interés por mejorar la relación entre el visitante invidente y los contenidos del centro. Aquí sólo se pretende expresar algunos ejemplos de buenas prácticas.

En España, el paradigma del museo adaptado especialmente a personas con discapacidad visual es el Museo Tifológico de Madrid, inaugurado en 1992 por la ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles), cuenta con una colección de maquetas de monumentos nacionales e internacionales, obras artísticas de autores ciegos y deficientes visuales y, también, de material tifológico (García Lucerga, 1993) y podría considerarse único en su género. En este museo se han llevado a cabo estudios sobre la relación entre los diferentes perfiles de visitantes y sus salas temáticas, Asensio, Simon y Pol y un grupo extenso de colaboradores entre los que destacaban responsables de diversos museos españoles participaron en un proyecto integral en el que se analizaban entre otros el uso del Museo Tifológico (Asensio et al., 1998). La sorpresa de este estudio fue por un lado, el reconocimiento del importante rol que juega la ayuda verbal para el aprendizaje de los contenidos y, en segundo lugar, que casi la mitad de los visitantes ciegos no emplearon los recursos táctiles ni auditivos asociados a cada maqueta durante los experimentos (Asensio & Simon, 1997), hecho que a nuestro entender pudo deberse a la planificación de éstos con una visita en grupos grandes con guía, que impidió prestar la atención adecuada a estos dispositivos. De aquí se deriva una conclusión fundamental, y es que las visitas a museos o lugares patrimoniales en las que se enmarque el emplear el sentido del tacto, como son las adaptadas a personas con discapacidad visual deben hacerse, según recomendaciones, en grupos reducidos de un máximo de tres personas, para poder interactuar personalmente con el guía a través del tacto activo y la asistencia verbal simultáneamente (Joffee & Siller, 1997), es decir de manera multimodal, aunque este hecho puede variar en función del tipo de actividad (Consuegra Cano, 1997). Además según señalan Handa y Toriyama, desde sus estudios en Japón, la preparación del personal para atender estos casos es incluso más importante que la adaptación de las propias instalaciones, ya que amplifican y llenan de significado los recursos disponibles en el centro (Handa et al., 2010).

Continuando con el caso de España dentro del ámbito de la accesibilidad al patrimonio de las personas con discapacidad visual, destaca el trabajo llevado a cabo por Consuegra Cano y Rosa Gratacós, sin duda pioneras en este ámbito y cuyos estudios han servido de ejemplo a generaciones posteriores. Rosa Gratacós analiza, entre otros aspectos y desde una perspectiva humana y social, el acercamiento al arte por parte de estos usuarios, sobretudo al mundo de la escultura, pero sin dejar de lado experiencias que tienen que ver con la movilidad y la orientación urbana a

través de dispositivos hápticos con los que construir mapas cognitivos. Como señala Gratacós en las conclusiones de una de sus experiencias en el barrio gótico de Barcelona:

“La maqueta ha permitido a los participantes realizar aprendizajes para la identificación de referencias, la localización de puntos clave como esquinas, puertas y escalones, las decisiones sobre cambios de dirección y el cálculo mental de distancias que son factores que conducen a la orientación y organización espacial” (Gratacós Masanella, 2006).

Consuegra Cano, por su parte, en sus aportaciones al estado de la cuestión enfatiza también en el valor de la exploración táctil de maquetas arquitectónicas como instrumentos para el aprendizaje de este colectivo dentro de un museo, concretamente en la elección/selección de los contenidos a tratar, en cómo representarlos, así como en las condiciones físicas de ésta y en la peana de exposición adaptada a todos los usuarios (Consuegra Cano, 1998), pero también en las estrategias para comunicar el mensaje expositivo, entre las que, además de la exploración táctil, se encuentran la descripción oral y el tratamiento personalizado (Cano & et al., 2000). De la descripción oral se ha llegado incluso a desarrollar una normativa siguiendo pautas previamente experimentadas con usuarios con discapacidad visual (UNE 153020:2005 Audiodescripción para personas con discapacidad visual. Requisitos para la audiodescripción y elaboración de audioguías), aprovechando el alto valor para la asimilación de los contenidos obtenido mediante audioguías y/o guías multimedia (Ruiz, Pajares, Moreno, Gálvez, & Solano, 2008). Por otro lado, esta autora apunta hacia dos aspectos de especial interés en este estudio, uno es la apreciación positiva de este tipo de usuarios hacia los instrumentos táctiles en museos y, otro, las dificultades de encontrar señales de referencia (escalas gráficas o numerales, símbolos, iconos, numeración, leyenda, texturas) fácilmente discriminables al tacto y que, junto con el excesivo detalle, representan dos de los problemas más habitualmente planteados en el diseño de planos y mapas en relieve (Consuegra Cano, 2002).

Otros autores de habla hispana han contribuido desde su perspectiva integradora a la difusión del patrimonio cultural de un modo inclusivo. Además de los ya nombrados o citados, caben señalar también a Espinosa Ruiz desde el Museo Municipal de Villajoyosa y la Universidad de Alicante (Espinosa Ruiz, 2006; Espinosa Ruiz & Guijarro Carratalá, 2005) o Puyuelo Cazorla desde la Universitat Politècnica de València, una de las pocas investigadores que abarcan la cuestión desde la óptica del diseño de productos (Puyuelo Cazorla, Val Fiel, & Felip Miralles, 2011; Puyuelo Cazor-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

la, Gual Ortí, Lloveras Macià, & Merino Sanjuan, 2011; Puyuelo Cazorla, Merino Sanjuán, Val Fiel, Felip Miralles, & Gual Ortí, 2010).

Por último, desde el *National Center on Accessibility* de EE. UU. de América, se recomienda que las visitas provean y se planifiquen según una serie de aspectos (NCA, 2011), entre otros:

- Proveer de oportunidades táctiles que permitan una experiencia interpretativa mejor. En este sentido, poder tocar obras, réplicas, explorar mapas y maquetas de orientación ayudan a mejorar la comprensión de los contenidos de cualquier exposición.
- Recibir *inputs* y *feedback* de los usuarios afectados. Ellos son los que mejor pueden valorar la validez de las medidas adoptadas.
- Atender a que los usuarios con discapacidad visual precisan una mayor atención en aspectos de orientación que el resto de público en general, pero también en adecuar el formato de la información a sus necesidades para que la visita sea produzca con la mayor independencia posible.
- Tener personal convenientemente preparado que haya recibido formación específica para el caso.
- Prestar atención a que los ítems de la visita sean accesibles y se encuentren en buen estado, sino la experiencia puede ser frustrante.

1.4. USUARIOS CON DISCAPACIDAD

El colectivo de personas con discapacidad, entre los que se encuentran agrupados las personas con discapacidad visual es amplio, numeroso y heterogéneo. Según las normas UNE, una discapacidad es: “cualquier pérdida o limitación de la capacidad (como consecuencia de una deficiencia) para realizar cualquier actividad en la forma o límites considerados normales en el ser humano” (AENOR, 2000).

Ahora bien, como indica Tortosa, el término discapacidad es un término comparativo, de tal modo que “puede decirse que la mayoría de las personas son discapacitadas de alguna manera” (Tortosa, García-Molina, Page, Ferreras, & Teruel, 1999). Ya que las capacidades de cada individuo son, al mismo tiempo, diversas y diferenciales en muchos casos, de ahí que hayan surgido nuevas propuestas de designación como la empleada en el Foro de la Vida “personas con Diversidad Funcional” que se centran en una concepción focalizada en la capacidad, más que en la propia discapacidad (Palacios & Romañach, 2008).

Según la propia Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad de Naciones Unidas de 2006 existe, además de las barreras de movilidad y/o comunicativas, un problema de actitud social ante este grupo de gente: “la discapacidad es un concepto que evoluciona y que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias y las barreras debidas a la actitud y al entorno que evitan su participación plena y efectiva en la sociedad en igualdad de condiciones con las demás”.

Estas personas, las personas con discapacidad, se caracterizan porque pueden tener limitada la posibilidad de desplazamiento, de acceso y de uso pleno en espacios, instalaciones, productos, edificios y servicios (temporal o permanentemente).

Las clasificaciones más antiguas hablan de personas con movilidad reducida (PMR); o de personas beneficiarias de la supresión de barreras (PBSB). Ciertamente, estos grupos incluyen una variedad tipológica de usuarios con distintos niveles de dificultad para actuar en el espacio colectivo. Este sistema de clasificación habla de colectivos afectados por las distintas barreras del entorno: personas con discapacidades permanentes; personas con edad avanzada; y personas con circunstancias transitorias (Álvarez et al., 1997). Cabe advertir que esta clasificación resulta útil en el campo de la arquitectura o el urbanismo, aunque, no tanto en el área del diseño de productos, ya que, como se aprecia, hace especial hincapié en las barreras a la movilidad y no hay que olvi-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

dar las dificultades que algunas de estas personas presentan en los registros de comunicación, comprensión y manipulación diaria.

En este sentido, una de las clasificaciones más comúnmente extendida es la que divide a estas personas según su tipo de deficiencias en: personas con deficiencias motoras o físicas; personas con deficiencias sensitivas y de comunicación (visuales, auditivas, problemas en el habla); y personas con deficiencias cognitivas o psíquicas.

Estos tres grupos poseen unas capacidades y necesidades muy variadas. Además, con el inconveniente de que, en algunos casos, existe la posibilidad de compartir diferentes tipos de discapacidad al mismo tiempo (multidiscapacitados), por ejemplo, en el caso del colectivo de sordo-ciegos. Las dificultades para proyectar productos a todos los intereses en sintonía con los postulados del Diseño Inclusivo, se convierten en un verdadero reto para la sociedad y, en especial, para el colectivo de diseñadores e investigadores.

Existen otras clasificaciones, como por ejemplo la que propone Rovira-Beleta, dentro del conocido Libro Blanco, que encuadra a colectivos con condiciones similares, estableciendo tres grandes grupos de usuarios: los ambulantes, usuarios de silla de ruedas y sensoriales. Las personas ambulantes son aquellas que algunos de sus movimientos los hacen con dificultad, y en muchas ocasiones precisan de ayudas ortopédicas para deambular. En segundo lugar, los usuarios que precisan de una silla de ruedas para realizar sus actividades cotidianas (Imagen 8). Y, por último, los usuarios con discapacidad sensorial entre los que se encuentran ciegos y deficientes visuales (Rovira-Beleta, 2003).



Imagen 8: Estudio gráfico de traslado de silla de ruedas en un hogar. El usuario principal precisa ayuda para realizar esta tarea cotidiana.

1.4.1. USUARIOS CON DISCAPACIDAD VISUAL Y CEGUERA

Según datos proporcionados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), existe un colectivo de 285 millones de personas en el mundo con discapacidad visual y el 90% de éstas viven en países desarrollados. Este hecho se debe fundamentalmente al fenómeno de envejecimiento de la población en regiones con un estado del bienestar consolidado. Además, el porcentaje de personas con esta discapacidad se ha reducido en los últimos 20 años gracias a las acciones emprendidas desde diferentes instituciones para prevenir esta discapacidad con planes de salud. Las causas principales de esta discapacidad son la miopía, hipermetropía y astigmatismo (43%); cataratas (33%) y glaucoma (2%) (WHO, 2012).

En España las cifras también son significativas, el Instituto Nacional de Estadística (INE) estima, según datos de la Encuesta de Discapacidad, Autonomía personal y situaciones de Dependencia del 2008 que hay alrededor de 3.85 millones de personas con discapacidad en una población de alrededor de 37 millones personas, de los cuales aproximadamente 82.000 son discapacitados visuales (INE, 2008). Según el registro de afiliados a la ONCE, en el año 2010 habían unos 72.000 asociados, es decir, 72.000 personas con discapacidad visual, de los cuáles el 80% eran deficientes visuales, y un 43% tenía más de 65 años (ONCE, 2010). La cantidad de personas afectadas, como se observa, no es vanal.

En otro orden de cosas, la *International Clasification of Desease* determina cuatro niveles de función visual (WHO, 2001):

- Visión normal.
- Visión con deficiencia moderada
- Visión con deficiencia severa
- Ceguera o ausencia de visión.

Las personas con deficiencia visual (moderada y severa) y las personas invidentes se agrupan dentro del término de personas con discapacidad visual (**Imagen 9**). Las personas con deficiencia visual también se les conoce con otros términos como personas con baja visión, con restos visuales o visión reducida o parcial.



Imagen 9: Personas con discapacidad visual explorando una maqueta táctil (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo).

A todo esto hay que añadir que cualquiera de los dos grupos tratados, pueden tener limitada su capacidad perceptiva de una manera congénita, es decir, desde la fecha de nacimiento o prácticamente en los primeros años de vida; o de una manera sobrevenida con el paso del tiempo, como podría ser el caso de muchas de las personas mayores que con el tiempo ven mermadas tanto sus capacidades motoras, como las sensitivas. Es importante señalar esta doble segmentación, deficiencia visual/ceguera y deficiencia congénita/sobrevenida, porque de todos los casos

posibles de usuarios, los invidentes congénitos no presentarán ningún tipo de recuerdo visual y para ellos la comprensión del mundo les viene proporcionada por otro tipo de experiencias perceptivas entre las que no se encuentra la memoria visual. Los invidentes congénitos, por otro lado, han adquirido habilidades táctiles desde edades tempranas, más que las que puedan haber adquirido una persona con ceguera sobrevenida, sobre todo, si esta deficiencia visual se presenta en edades avanzadas (Benoist, 1991).

Por otra parte, la patologías visuales que afectan a estos usuarios tienen que ver bien con la alteración de la agudeza visual¹, o bien con el campo visual² y presentan diferentes características en función de la tipología de lesión, así un deficiente visual podría encontrarse fundamentalmente en alguno de estos grupos o en una combinación de ellos (VV. AA., 2003):

- Personas con lesiones en la parte central de la retina. Éstas presentan dificultades para leer letras pequeñas, escribir, reconocer caras, realizar actividades de la vida diaria y ver televisión, entre otros (Imagen 10).
- Personas con daño en la parte periférica de la retina. Estos usuarios dependen en gran parte de las condiciones de iluminación ambientales. Sus dificultades radican, sobre todo, en desplazarse, calcular distancias, detectar obstáculos y localizar objetos entre otros (Imagen 11).
- Por último, personas con visión borrosa, las cuales tienen problemas en percibir colores, objetos poco contrastados, letras y objetos pequeños, así como detalles, tanto desde la proximidad, como de lejos (Imagen 12).

1. Capacidad para percibir los detalles presentados con buen contraste.

2. Espacio que una persona puede ver cuando los ojos miran de frente.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES



Imagen 10: Visión de personas con lesiones en la parte central de la retina.

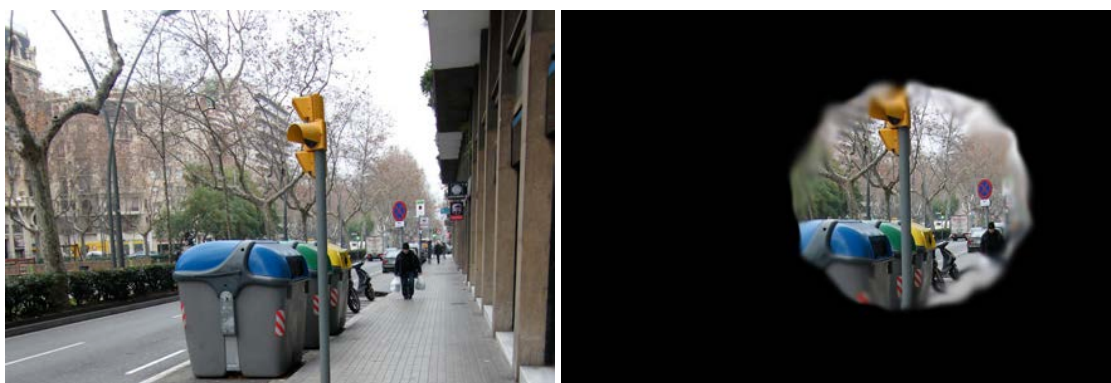


Imagen 11: Visión de personas con daño en la parte periférica de la retina.

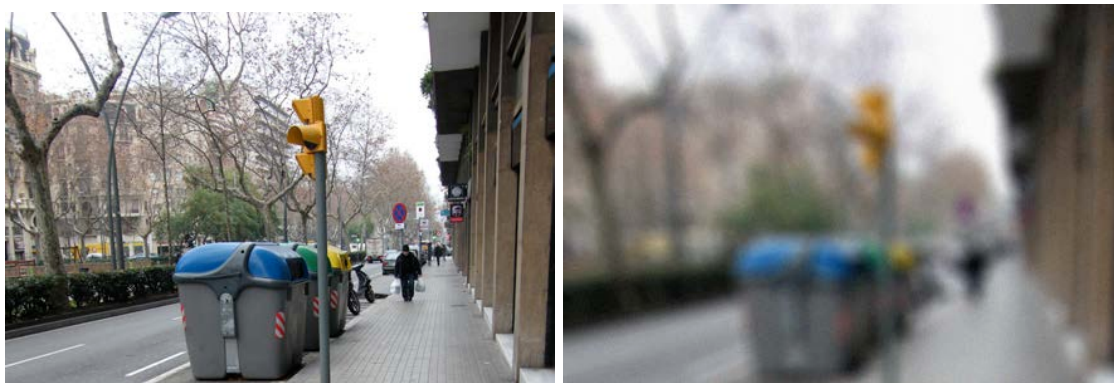


Imagen 12: Visión borrosa.

a. Dificultades y soluciones

Las personas con discapacidad pueden encontrar dificultades en ámbitos de la vida diaria, como los relativos a movilidad, cuidado personal, entorno doméstico y comunicación entre otros, pero también en el contexto social, es decir en educación, empleo, ocio, cultura, etc. Algunos

problemas concretos con los que se encuentra este colectivo son la detección de obstáculos, principalmente desniveles y boladizos, problemas de orientación espacial o no percepción de señales visuales.

En el ámbito de la edificación, según Joffee, el principal problema son los obstáculos comunicativos (Joffee, 1999), ya que las barreras arquitectónicas que para un usuario con problemas de movilidad representan una dificultad a superar, como las puertas o pasillos demasiado estrechos o unos simples escalones, no son de hecho barreras a la movilidad para este colectivo.

Por otro lado, Weih, Hassel and Keeffe, de la Universidad de Melbourne en Australia obtuvieron datos en su estudio sobre las implicaciones de la discapacidad visual en el desarrollo de la vida diaria que señalaban la asistencia emocional y la movilidad como las dos áreas en las que las personas con discapacidad visual veían restringida su participación (Weih, Hassell, & Keeffe, 2002).

En España, a través de los resultados de una encuesta del INE (2008), anteriormente citada, en la que se preguntaba sobre diversos aspectos de la vida diaria de las personas con discapacidad, se advierte que los problemas de visión retraen a las personas con discapacidad visual a participar en acontecimientos o actividades, empezando por no utilizar el transporte público y llevando una vida más sedentaria (el 100% de los invidentes declaran este problema, así como elevados porcentajes de personas con deficiencia visual), hecho que deriva en cierto déficit de comunicación y relación con el resto de personas. Otro dato que brinda el INE en los resultados de esta encuesta es que el 70% de los invidentes dicen no poder hacer compras para el hogar, el 40% en el caso de los deficientes visuales, e incluso exponen dificultades para cuidarse de sí mismos (INE, 2008).

En cuanto a la movilidad y a la orientación, estas personas emplean determinadas estrategias para realizar un itinerario cotidiano previamente aprendido. Estas estrategias se basan en el uso de esquemas mentales del lugar y de la propia ruta. En estos esquemas el usuario sitúa secuencialmente las referencias y obstáculos; calcula aproximadamente las distancias a partir de por ejemplo contar los pasos; e integra estímulos olfativos (restaurantes, cafeterías, zonas verdes, etc.) o auditivos, como por ejemplo advertir el sonido del tráfico de los coches para localizar, y en su caso, cruzar un semáforo, o reconocer el sonido de una fuente cercana.

Aunque también emplean determinados dispositivos (ayudas técnicas) que facilitan su interacción con el medio. Algunos invidentes emplean perros guía en sus desplazamientos, otros

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

emplean el conocido bastón blanco y los más atrevidos utilizan dispositivos móviles con GPS o últimas tecnologías. Aunque, según Joffe, muchas de las personas invidentes no emplean perros guía o bastón blanco, sino que algunos confían en sus restos visuales y en los estímulos táctiles y auditivos para llevar a cabo sus actividades diarias, y precisan ayuda o guía de una persona vidente para realizar recorridos urbanos o en medios desconocidos (Joffe, 1999).

Afortunadamente, en los últimos años ha habido un desarrollo técnico en el área de la tiflotecnología que ha permitido optimizar el acceso de este colectivo de personas a la información y ha mejorado su capacidad de interacción con el medio, sobretudo en entornos de trabajo. Algunos de estos dispositivos ya se han convertido en instrumentos extendidos en su uso, por ejemplo el teclado o línea Braille que permiten la escritura y traducen a formato físico (Braille) la información digital de un ordenador, anotadores electrónicos con voz sintetizada (*Braille'n speak*) que emplean a modo de agenda entre otros usos, teléfonos móviles que interactúan con la voz y que leen la información textual, etc. Todos estos recursos mejoran su vivencia diaria del medio. Otros productos se encuentran desarrollados pero aún no ha madurado su implementación es el caso, por ejemplo, de los productos o servicios derivados de las tecnologías de comunicación sin cables (*Wi-fi*, *bluetooth*, radiofrecuencia, etc.) (Gill, 2007); o el de tabletas táctiles con sensores de superficie que permiten salida de audio para interpretar gráficos en relieve (Miele, Landau, & Gilden, 2006), así como lápices hápticos que permiten mediante sensores ópticos leer cualquier tipo de gráfico previamente preparado (Landau, Bourquin, van Schaack, & Miele, 2008).

En lo relativo al acceso al patrimonio, tanto desde la óptica de la orientación y movilidad, como desde la perspectiva de la comunicación existen dificultades para este colectivo, aún no superadas del todo. Normalmente los museos centros de interpretación exponen sus piezas al público detrás de vitrinas de cristal u otras barreras y, afortunadamente, para las personas con discapacidad visual cada vez es más normal poder contar en estos lugares y en los contextos del patrimonio cultural con un guía o una audioguía que comunique los contenidos de la exposición o visita. Por otro lado, la orientación dentro de estos espacios es una cuestión irresuelta y la falta de autonomía para el desarrollo de una visita totalmente independiente es un hecho palpable. Por todo ello, se puede afirmar que estos espacios y sus servicios no proveen de una experiencia del todo equivalente con la del público en general. Desde el NCA (*National Center on Accessibility*) apuntan a una serie de medidas para mejorar la accesibilidad a personas con discapacidad visual en el diseño de exposiciones y museos que puede ser trasladada al ámbito de la instalaciones visitables del patrimonio cultural. Estas medidas son (NCA, 2011):

- Aportar una comunicación efectiva con el uso de macrotipos, código Braille en las etiquetas y publicaciones de los contenidos.
- Emplear dispositivos táctiles como gráficos tangibles, planos y maquetas táctiles para la orientación y planos audio táctiles. En el caso de los mapas táctiles, se debe tener en cuenta tanto los portables de uso individual durante la visita, como los permanentes para un empleo colectivo (Imagen 13).
- Empleo de sistemas de audiodescripción que pueden permitir también una buena comunicación de los contenidos de la exposición. Las audioguías deben permitir dejar las manos libres para experimentar mediante el sentido del tacto el elemento descrito por la audioduía (cuando se requiera percibir de manera multimodal).
- Atender al desarrollo de las nuevas tecnologías maduras, es decir, aquellas que ya tienen un uso extendido en el público general como la voz sintetizada o simples archivos de texto que puedan descargarse de internet previamente por el visitante, de esta manera estos usuarios puedan imprimirla en Braille, leerla desde una línea Braille o escucharla mediante un sintetizador de voz. Estas técnicas permiten al usuario con discapacidad visual un multitud de opciones según sus preferencias, entre ellas la de poder emplear estos archivos de audio digital (mpg) desde sus propios dispositivos personales como PC's o teléfonos móviles.

Como apunta Consuegra Cano, el acercamiento al arte, y el conocimiento de las manifestaciones culturales es un tema imprescindible en la formación de los estudiante ciegos o deficiente visual, de ahí que sea de vital importancia incluir las visitas a estos contextos dentro del curricula de este tipo de alumnado (Consuegra Cano, 1997)

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES



Imagen 13: Plano permanente en relieve de la planta baja de la Casa Milà (Barcelona), Dispositivo de uso colectivo.

b. Las personas con discapacidad visual y los planos táctiles

En lo relativo al uso de planos táctiles por este tipo de usuarios es importante señalar algunos aspectos fundamentales. En primer lugar, el grado de conocimiento de las estrategias de lectura háptica, éste resulta fundamental para la comprensión de estos dispositivos. Este conocimiento permite reconocer la información ofrecida en un producto táctil con mayor precisión y eficacia, incluso en contextos reales (Perkins & Gardiner, 2003).

Por otro lado, la diferencia entre invidentes congénitos y tardíos condiciona la familiarización con estas estrategias de lectura y también con la posibilidad de haber accedido a una memoria visual facilitadora del entendimiento de las convenciones gráficas. Todo ello redunda en su capacidad para codificar la información de un ente de naturaleza gráfico-táctil y en su correcto entendimiento del medio, siempre y cuando se codifique la información de un modo eficiente (Blades et al., 2010).

A pesar de ello, y de la conocida baja capacidad del tacto para procesar información respecto a la visión, estos hechos no impiden que los gráficos tangibles puedan llegar a suministrar una información equivalente a la adquirida por los tradicionales gráficos visuales, con un entrenamiento adecuado del usuario y con unas características concretas de la información representada (Lillo Jover, 1992). Para codificar esta información es importante atender varios aspectos. Un primero, es combinar la descripción verbal con la exploración táctil (Consuegra Cano, 2002), atendiendo a que, el tacto y el oído son los sentidos con los que una persona invidente adquiere, en gran medida, la mayor parte de la información. Esta estrategia mejora el entendimiento preciso del entorno

representado en el plano (Spencer & Travis, 1985). Un segundo aspecto, pasa por reconocer el rol de la memoria háptica en invidentes. Un usuario ciego explora de modo secuencial un plano táctil, a diferencia de lo que ocurre en el fenómeno visual, que es simultáneo y precisa menos tiempo para captar la misma información (Ballesteros, 1993).

Por último, caben anotar dos cuestiones importantes, por un lado, la carga de ansiedad que se genera en estos usuarios a la hora de visitar lugares para los que no están familiarizados (Jacobson, 1998); y por otro lado, la gran importancia de la experiencia directa, es decir, de la realización práctica del recorrido (Espinosa & Ochaita, 1998).

1.5. EL SENTIDO DEL TACTO Y LA DISCAPACIDAD VISUAL

En este estudio es evidente que el tacto juega un papel especial. De ahí que convenga introducir algunos aspectos de éste para comprender mejor cómo funciona este sistema perceptivo. La percepción táctil ha sido un tema de estudio relativamente reciente. David Katz's fue pionero y en 1925 publicó un monográfico clásico sobre la cuestión, *Der Aufbau der Tastwelt* (El mundo del tacto) en el que sentó las bases de estudio de trabajos posteriores (Krueger, 1982). Gracias a estos primeros estudios, hoy en día, podemos comprender mejor los atributos y características del sentido del tacto y, entre otros aspectos, podemos diseñar gráficos tangibles con mayor eficiencia, ya que el tacto y el oído son los dos principales sentidos mediante los cuales una persona ciega interactúa con el mundo (Imagen 14).

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES



Imagen 14: Usuario con discapacidad visual experimentando desde el sentido del tacto con el relieve de una maqueta táctil en fase de evaluación (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo).

En el lenguaje común empleamos el vocablo táctil para hacer referencia al mecanismo mediante el cual percibimos información mediante el sentido del tacto. Pero desde el ámbito de la psicología de la percepción existen tres modos para percibir mediante este sentido: la percepción táctil, la percepción kinestésica y la percepción háptica (Loomis & Lederman, 1986).

- La percepción táctil, se produce a partir del contacto cutáneo con un objeto de manera estática, es decir sin realización de movimientos y sólo a través de la piel.

- La percepción Kinestésica, sin embargo, se refiere a la información recibida a través de los músculos y los tendones.
- Por último, la percepción háptica, que combina ambas modalidades y suele ser voluntaria, activa y dinámica.

En este estudio se empleará indistintamente el vocablo háptico o táctil, pero siempre desde el sentido que le confiere el término háptico arriba definido.

Por otro lado, es sabido que mediante el sentido del tacto podemos percibir ciertas propiedades de un objeto para recibir información de éste: las propiedades referidas a la sustancia (temperatura, dureza, textura y peso), las referidas a la organización espacial de los objetos (forma y tamaño); y por último las relacionadas con las propiedades funcionales del objeto (Lillo Jover, 2008).

Además, como se ha comentado, el sistema de percepción táctil es menos agudo y preciso que el visual para percibir fenómenos gráficos (Lillo Jover et al., 2008), sin embargo algunas propiedades como la temperatura de un objeto se procesan mejor mediante este sistema. Ahora bien, respecto al sistema visual, el gran déficit del sentido del tacto es que la percepción táctil adquiere la información de manera secuencial, fragmentada, el sentido de la vista sin embargo la procesa de manera global, hecho que deriva en un uso del tiempo mayor para leer un gráfico tangible mediante el sentido del tacto (Ballesteros, 1993), y también en el empleo de la memoria háptica para reconstruir las partes exploradas en un todo (Blades et al., 2010). De aquí se deriva que el uso de la memoria para captar los atributos y contenidos de un plano es una actividad fundamental en usuarios invidentes (Ballesteros, 1993; Millar, 1999). Este último hecho implica, como se comentará más adelante, que los gráficos tangibles sean simples y contengan menos información, sólo la sustancial, que sus respectivas versiones visuales.

A pesar de esto mediante el tacto es posible identificar objetos tridimensionales de manera precisa y rápida, como demostró Klatzky en 1985 al realizar un experimento que consistía en identificar 100 objetos cotidianos, la adecuación en las respuestas fue del 95%, y el 68% de éstas se dieron en menos de tres segundos (Klatzky, Lederman, & Metzger, 1985). Además, mediante el tacto, es posible identificar ciertas propiedades de las texturas, como la suavidad o rugosidad, con más precisión que el sentido de la vista (Heller, 1989).

Pero dentro de este ámbito hay que reconocer también el importante rol que juega la experiencia previa y el entrenamiento para aprovechar mejor las, normalmente infrautilizadas, posibilidades

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

des del sentido del tacto. Así, adquirir habilidades para la exploración háptica es un recurso que facilita la captación de información en relieve. Estas estrategias tienen que ver fundamentalmente con la sistematización de los movimientos de exploración de un gráfico tangible, con la dimensión de estos movimientos, la secuencia con la que se hacen, el uso de ambas manos, la presión con los dedos y el seguimiento de contornos entre otros, es lo que Lillo Jover denomina tacto inteligente (Lillo Jover, 2008) y otros denominan tacto activo (Lederman, 1981). Normalmente, las personas ciegas, sobre todo las congénitas, desarrollan estas capacidades con más intensidad que las personas videntes por pura necesidad y lo hacen desde su infancia.

Según un reciente informe del RNIB (*Royal National Institute of Blind People*) (Cryer & Gunn, 2008) que resume el estado del arte en este aspecto, las principales estrategias de exploración táctil son:

- Iniciar el contacto con el plano con una exploración rápida con las dos manos que aporte información general del dispositivo como el tamaño de éste y sus principales referencias.
- Realizar una exploración sistemática, siguiendo los contornos con las manos y analizando las principales características tanto desde una perspectiva general, como de una perspectiva de detalles específicos.
- Prestar atención a las relaciones espaciales buscando patrones que faciliten la memorización: edificio de planta triangular, rectangular, proximidad de una calle con otra, cruce entre calles, etc.
- Y por último emplear referencias que ayuden a la ubicación de la exploración dentro del plano, por ejemplo fijando una mano en un ítem-referencia concreto y explorando con la otra para percibir un nuevo ítem y referenciarlo respecto al anterior.

Además se debe añadir que en el proceso de exploración táctil parece existir una diferencia entre el grado de reconocimiento entre líneas verticales y horizontales, siendo el patrón vertical más fácilmente reconocible debido a que el rastreo en dirección horizontal, usado intuitivamente, repite el mismo estímulo sobre las yemas de los dedos, hecho que no sucede en el caso de la exploración vertical, en la que, por ejemplo, si se emplean las dos manos (10 dedos) cada uno de ellos está explorando zonas diferentes del mapa en su movimiento de “columna” (Lillo Jover, 1992) y por lo tanto adquiriendo más información en la exploración (Imagen 15).

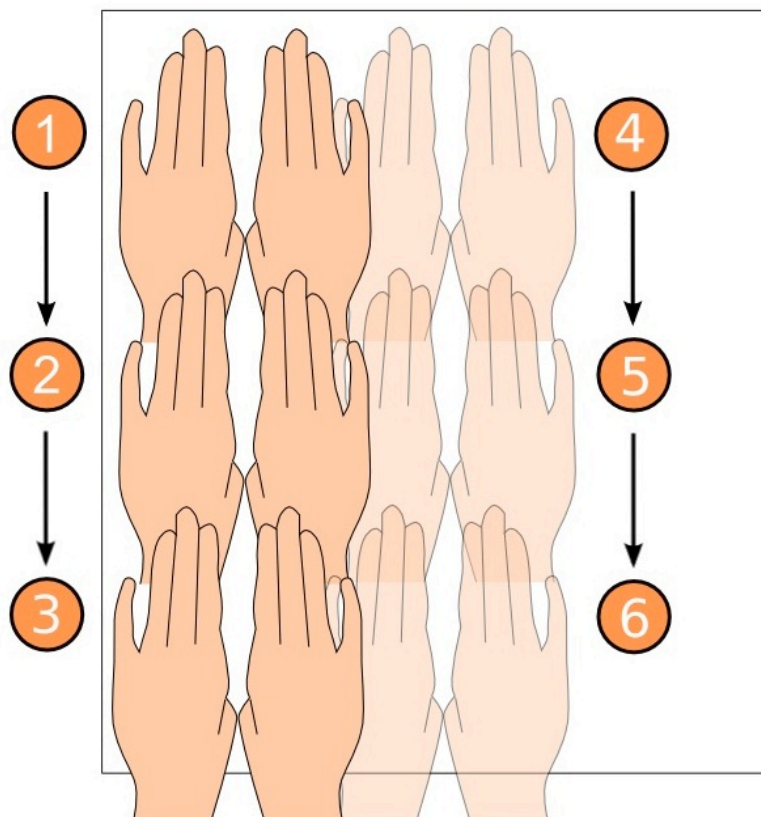


Imagen 15: Secuencia recomendada de gestos en la exploración de un gráfico tangible.

Por otro lado, cabe preguntarse hasta qué punto mediante el sentido del tacto y el uso de un dispositivo táctil una persona invidente puede desarrollar conocimiento sobre el espacio que le rodea. En este sentido, Ochaíta y Huertas experimentaron con maquetas táctiles que exponían distintos problemas de relaciones espaciales, sus resultados fueron que los niños invidentes congénitos a los 7 años aproximadamente desarrollaban nociones espaciales topológicas como separación, proximidad, cerramiento, continuidad y orden, y que a los 14 ya eran capaces de comprender las relaciones métricas y euclidianas, con un retraso respecto a los videntes de 5 o 6 años, según la teoría piagetiana de la evolución del conocimiento espacial (Ochaíta & Huertas, 1988).

Además, hay que señalar que la utilidad de este tipo de dispositivos, en lo relativo a planos en relieve para facilitar la movilidad, orientación espacial y la autonomía de usuarios invidentes y con deficiencia visual es positiva según diversos estudios (Blades et al., 2010; Espinosa & Ochaíta, 1998; James, 1982; Lillo Jover, 1992; Spencer & Travis, 1985) y autores como Huertas y Ochaíta consideran los planos táctiles imprescindibles para la optimización del aprendizaje de espacios

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

desconocidos y para el estudio de materias en las que se trate información gráfica como la geografía (Ochaíta & Huertas, 1988).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos comentados anteriormente en relación a la percepción táctil parece conveniente apuntar que un gráfico tangible es un tipo de dispositivo que desde la óptica del diseño debe atender varios factores genéricos (además de los comentados en el apartado de requerimientos de diseño, Véase [Requerimientos de diseño en los planos táctiles en página 63](#)). Estos según Willian Schiff son los siguientes (Nolan & Morris, 1971):

- El principal principio que debe seguir el diseño de un gráfico en relieve es el empleo del contraste en cualquiera de sus dimensiones y matices: contrastes de forma, tamaño, altura, material, textura, concavidad/convexidad, entre otros. Aunque los contrastes más importantes a tener en cuenta por parte del diseñador son el contraste de altura, el de textura y el de concavidad/planitud/convexidad (Hinton, 1996). Los elementos del plano, puntos, líneas y superficies-texturas, deben ser diferenciables entre ellos. El contraste visual no tiene porqué ser un buen indicador para los gráficos tangibles.
- El segundo más importante después del contraste es que el diseño sea simple. El mejor gráfico tangible normalmente es el más simple.
- La forma de los contornos en relieve deben tener un tamaño suficiente grande para ser detectados mediante el sentido del tacto activo. Las formas pequeñas se discriminan con dificultad, imprecisión y empleando más tiempo que las formas con un tamaño óptimo y adecuado al sistema háptico.
- El uso de líneas, expresando dirección en un textura no son recomendables, por ejemplo un conjunto de líneas paralelas, ya que el estímulo táctil que proporcionan puede depender de la dirección de los gestos de las manos en el proceso de exploración. Ahora bien, mediante una exploración sistemática en diferentes direcciones se puede detectar el patrón y, en ese caso, puede ser un buen factor de discriminación.
- La altura de las aristas, es decir, de las líneas que configuran un contorno en relieve es una variable clave para emplear en un gráfico tangible si se pretende discriminar elementos táctiles, debido a que la deformación cutánea producida en los dedos es una excelente clave para detectar diferencias en altura ([Imagen 16](#)).



Imagen 16: Sección de una línea en relieve, la de la derecha es más fácil de percibir debido a su mayor contraste de altura y a su mejor definición.

- La compatibilidad de la estructura debe ser la adecuada, entendiendo la compatibilidad como la relación entre el significante (elemento táctil físico) y el significado al que se refiere, esto es que la forma estructural del elemento sugiera, en la medida de lo posible, el contenido que representa, por ejemplo dos líneas paralelas que expresan una carretera.

En este sentido, conviene incidir en si algunos principios básicos de la Gestalt aplicados al sentido de la vista tienen correspondencia en el ámbito táctil. Los principios de la Gestalt tratan aspectos de organización y percepción del sentido de la vista y entre los más fundamentales se encuentra el denominado como la “Ley de Pregnanz” (buena configuración o buena forma) que implica, entre otros aspectos, que el sujeto percibirá los inputs del ambiente de la manera más simple y organizada posible, siendo las propiedades de la simplicidad, regularidad, equilibrio y simetría indicadores para mejorar el recuerdo de la forma percibida. Otros principios como por ejemplo, los de agrupamiento por semejanza (similitud) o proximidad explican cómo nuestro sistema perceptivo agrupa los elementos según sus propiedades visuales (forma, tamaño, color y textura) o según las distancias entre ellos (Weintraub & Walker, 1978).

Por otra parte, seguir el principio de máxima simplicidad posible en el diseño de un dispositivo táctil es una recomendación repetida desde varios manuales, por lo tanto se considera que en ambos sistemas perceptivos la simplicidad de la forma, textura, etc., mejora la pregnancia de la forma y ayuda a percibir mejor la estructura de ésta (Amick, Corcoran, Hering, & Nousanen, 2002; Blasch, Wiener, & Welsh, 1997; Edman, 1992), incluso el uso de la simetría bilateral en determinadas condiciones mejora la percepción de un gráfico tangible (Ballesteros, Millar, & Reales, 1998; Millar, 1999). Aunque también hay que señalar diferencias entre ambos modos de percibir, según señalan diversos autores. El hecho es que el distinto modo de operar del sentido del tacto respecto al visual, “de la parte al todo”, en lugar del proceder holístico de la visión, enfatiza ciertas

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

diferencias como cierta inclinación hacia el procesamiento de los detalles, más que del aspecto global, con la excepción de formas pequeñas que puedan percibirse al tacto de una manera global (Lakatos & Marks, 1999). La superficie que abarcan los dedos son los principales instrumentos mediante los que poder percibir un objeto mediante el tacto, de ahí su desventaja respecto al sentido de la vista. Por otro lado, este mismo fenómeno lo explica Bardisa en su libro sobre cómo enseñar a niños ciegos a dibujar, en este sentido, algunos estudiantes reconocían sus propias obras plásticas gracias a detalles anecdóticos que habían atraído su atención durante el modelado, más que al reconocimiento de la propia obra en general (Bardisa, 1992). De estos hechos se podría derivar la afirmación de que la percepción háptica es menos sensible a lo principios de la Gestalt que la propia visión en aspectos relativos a la comprensión global (Herssens & Heylighen, 2008).

Aunque, en otros trabajos sobre la ley de agrupamiento gestáltico, como el de Harrar y Harris, se detectaron similitudes en las maneras de operar de este principio en ambas modalidades (Harrar & Harris, 2007); y Chang, Nesbitt y Wilkins, por otro lado, encontraron que el principio de agrupamiento por similitud y proximidad es aplicable en ambos sistemas perceptivos, el háptico y el visual (Chang, Nesbitt, & Wilkins, 2007). Thompson en sus experimentos sobre reconocimiento de gráficos táctiles también encontró ciertas tareas en las que los usuarios, videntes con los ojos tapados, que debían reconocer los dibujos ofrecidos por los investigadores, empleaban estrategias que denotaban un uso de los principios gestálticos de agrupamiento y de forma-fondo (Thompson, Chronicle, & Collins, 2003). Por último, más recientemente Gallace y Spence han abordado esta cuestión analizando diferentes principios con unos resultados que indican que los principios de proximidad, similitud, buena continuidad, suerte común y cerramiento entre otros tienen igual vigencia en ambas modalidades (Gallace & Spence, 2011).

En resumen, respecto a la correspondencia entre sistemas perceptivos se puede afirmar que a pesar de la existencia de diferencias entre los procedimientos de ambos sentidos, existen algún grupo de principios gestálticos que parecen funcionar de maneras similares. Entre ellos, uno de los más fundamentales, el principio de simplicidad (Amick et al., 2002; Blasch et al., 1997; Edman, 1992) que opera para enriquecer la pregnancia de la forma.

1.6. EL CÓDIGO BRAILLE

El código Braille se ideó en 1825 por Louis Braille inspirándose en un sistema inventado por Charles Barbier para leer en la oscuridad de las trincheras durante conflictos bélicos (Correa Silva, 2008).

Este sistema supone una antecedente importante en este estudio, ya que mediante este código abstracto en relieve se resuelve una problemática de comunicación que proporciona una alternativa al lenguaje textual para personas ciegas o con baja visión.

Se trata de un sistema de lecto-escritura para personas ciegas. De esta manera un usuario invidente puede emplear este código para leer, escribir y así acceder a determinada información fundamental para su desarrollo como persona. Con la normalización de este sistema y su estandarización internacional las personas invidentes tienen más fácil su acceso a la educación y en general a la cultura (Imagen 17).

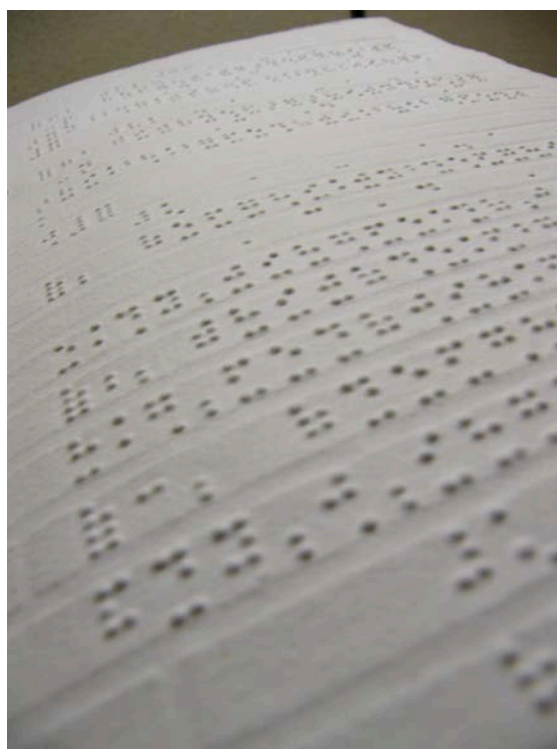


Imagen 17: Libro escrito en código Braille.

El sistema Braille es válido en cualquier idioma ya que es una convención que permite la traducción de cada combinación de puntos en la letra de cualquier alfabeto. La relación entre el signo y su significado es arbitraria como sucede en cualquier código de comunicación

El código se articula a partir de la combinación de seis puntos en relieve dispuestos sobre una

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

matriz o celda de dos columnas por tres filas. Con la combinación de estos seis puntos (y su ausencia) sobre la matriz se pueden conseguir hasta 64 distribuciones diferentes, y de esta manera representar las distintas letras de un alfabeto (Imagen 18), números, signos de puntuación y demás ítems que interese expresar (Comisión Braille Española, 2005).

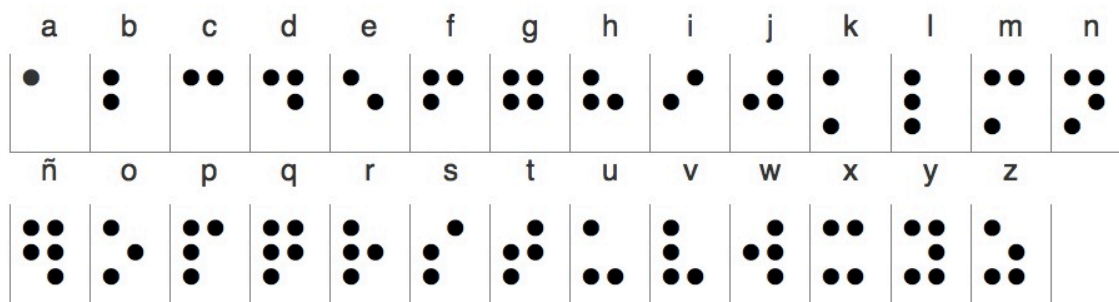


Imagen 18: Alfabeto Braille

Este sistema de lecto-escritura se encuentra desarrollado en detalle en las normas UNE 17002 de Requisitos de accesibilidad para la rotulación, junto con otros elementos de señalización como la tipografía, contraste de color y demás factores significativos para su empleo en rotulación (ANEOR, 2009). Las dimensiones de los puntos, sus distancias en la matriz, las separaciones entre casillas, etc., son constantes e inalterables, cualquier cambio más allá de las recomendaciones de las normas citadas puede llevar implícito que no sea entendible por parte del usuario invidente.

Las dimensiones de la matriz o celda Braille, en sus distancias entre los centros de los puntos son las siguientes: alto entre 6.2 y 7,1 mm; ancho entre 3.7 y 4.5 mm. La distancia horizontal y vertical entre puntos, medidos éstos desde sus centros, varía entre 2.4 a 2.75 mm. La altura mínima de su relieve es de 0.5 mm. Estos son algunos de los parámetros dimensionales más característicos de este código.

Las aplicaciones del Braille son muy variadas y actualmente se emplea en la señalización de algunas instalaciones públicas, en determinados productos de consumo del ámbito, por ejemplo, de la alimentación, higiene y productos farmacéuticos, así como en algunos servicios colectivos como cajeros automáticos, máquinas expendedoras de billetes (Imagen 19), etc.

En cualquier caso, este sistema se emplea profusamente en el diseño de planos táctiles y es uno de los elementos imprescindibles para extender el uso de éstos a usuarios con discapacidad visual.



Imagen 19: Detalle de máquina expendedora de billetes con Braille para facilitar al acceso a personas con discapacidad visual.

1.7. PLANOS Y SÍMBOLOS TÁCTILES. GRÁFICOS TANGIBLES PARA LA ORIENTACIÓN Y LA MOVILIDAD

Hablar de los gráficos tangibles y de sus distintas tipologías, planos, mapas, maquetas y/o gráficos de cualquier índole, es hablar de dispositivos o productos cuya información contenida es perceptible principalmente mediante el sentido del tacto. Estos dispositivos muestran información gráfica en relieve, de tal manera que aquellas personas que no poseen las funciones visuales completas puedan entender determinados contenidos (Imagen 20). Por otro lado, un gráfico tangible inclusivo es aquel que además muestra la información mediante otros canales como el visual (tactovisual), empleando por ejemplo recursos de comunicación gráfica (tipografía y contrastes de color entre otros)(Imagen 21). De tal manera que cualquier usuario puede llegar a entender los contenidos de un producto de estas características, hecho que deviene en un uso no excluyente del mismo.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

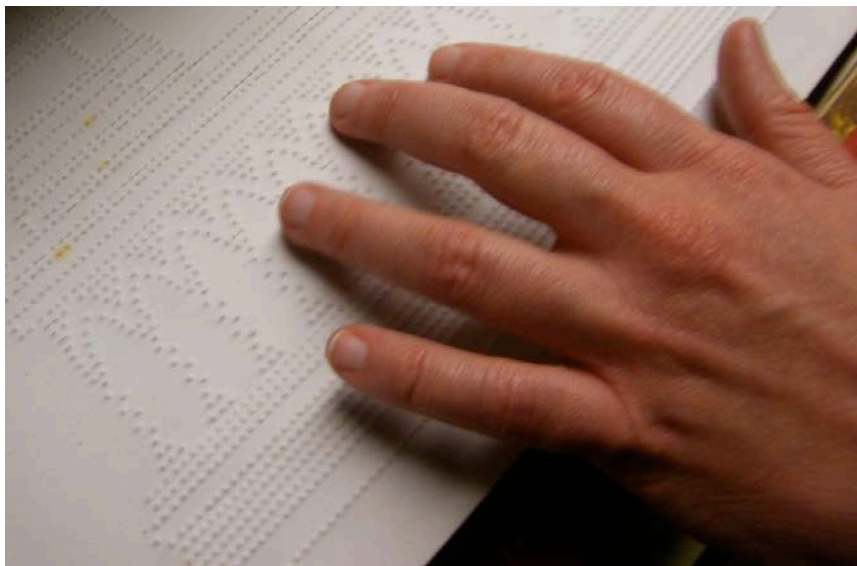


Imagen 20: Detalle de gráfico tangible en papel.



Imagen 21: Gráfico Tangible de la Venus Capitolina (Roma). Combina relieve y trazos sintéticos en color de su contorno más significativo.

Dentro de este grupo de gráficos tangibles se encuentran los planos táctiles (Imagen 22).



Imagen 22: Plano táctil de la 3ª planta del Museo Tifológico de la ONCE en Madrid.

Los planos táctiles son un grupo de recursos que expresan determinada información gráfica, como ya se ha comentado, mediante el uso del relieve. En este sentido, los planos táctiles, como los visuales, suelen emplear determinadas estrategias para exponer la información que contienen: calles, pasos de peatón, edificios, etc., en el caso de planos que representen una área urbana; o puntos de información, ascensores, servicios, etc., en el caso de planos interiores.

Entre estas estrategias se encuentra la de emplear simbología que sintetice la información. Así, un plano táctil normalmente se acompaña de una determinada simbología táctil. Estos últimos, los símbolos táctiles, se contextualizan dentro de estos dispositivos (planos táctiles) y normalmente se emplean en leyendas anexas a éstos (Imagen 23).

Por otro lado, cabe mencionar que el uso de estos dispositivos suele acompañarse de ayuda verbal que facilita la mejor comprensión del estímulo táctil explorado. Este hecho indica la falta de autonomía de uso en este tipo de recursos, ya que para un invidente es preciso la ayuda de terceras personas o de audiodescripción para comprender un gráfico tangible, hasta el punto de que existe toda una disciplina y normas (UNE 153020: 2005) que se preocupan de este aspecto (Cano et al., 2008). Por lo tanto, el reto se centra en diseñar mapas táctiles de manera más usable y eficiente. Para alcanzar este objetivo es imprescindible mejorar dos aspectos de la información necesaria en estos dispositivos, por un lado, la usabilidad (AENOR, 2000) táctil y, por otro, la inter-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

acción sonora. Este estudio se centra en la mejora del primer aspecto como se concreta en apartados posteriores (Véase **ALCANCE, CONCRECIÓN Y LÍMITES DE LA TESIS** en página 105).

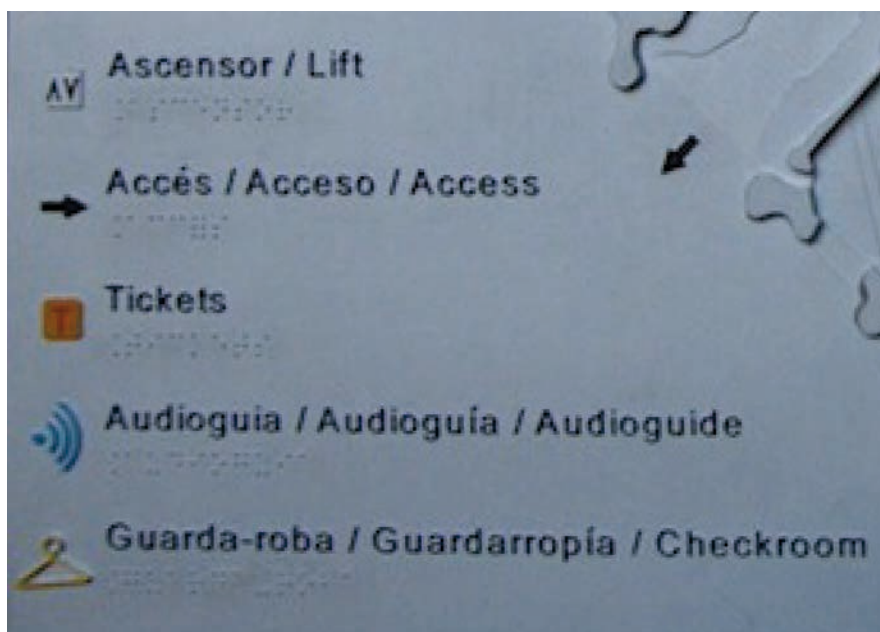


Imagen 23: Detalle de un grupo de símbolos táctiles correspondientes al plano en relieve de la planta baja de la casa Milà (Barcelona).

1.7.1. TIPOLOGÍAS Y USO DE PLANOS TÁCTILES

Existen diferentes tipos de mapas o planos táctiles los cuales sirven para comunicar y aprender geografía o también, para aprender a orientarse y moverse por un entorno determinado. Estos productos se pueden clasificar según Edman (Edman, 1992) en:

- *Planos de movilidad.* Muestran la información de calles, edificios, obstáculos, escaleras, ascensores, teléfonos, etc., para facilitar el aprendizaje de personas con discapacidad visual de una determinada área geográfica (urbana, natural, interior, etc.).
- *Planos topológicos.* Éstos destacan una ruta concreta al usuario invidente con un alto grado de simplificación y con todos los detalles externos excluidos. La finalidad es que mediante este dispositivo los participantes aprendan una ruta concreta, como por ejemplo la de su casa al trabajo, antes de iniciar la ruta real y que, posteriormente, puedan consultar el plano si lo consideran necesario.
- *Planos de orientación.* Este tipo de plano contiene menos información en detalle que los planos de movilidad y suelen abarcar un área mayor que la que abarcan aquellos. Por ejemplo, se representan líneas de transporte de tren o metro, centros comerciales, áreas

recreativas, etc.

- *Mapas generales*. Se trata de mapas políticos o físicos de una región o país.
- *Mapas temáticos*. Éstos expresan información muy variada, pero específica como datos sobre climatología, población, etc.

Aunque otros autores como James (James, 1982) distinguen los planos de los mapas generando una clasificación de sólo dos tipos de entre los cinco propuestos por Edman: los planos de orientación y los de movilidad.

Este estudio se centra en estos dos tipos, los cuales se relacionan principalmente con la orientación y la movilidad del usuario en un contexto físico. Estos planos se pueden utilizar de modo individual, antes de la ejecución del recorrido, por ejemplo cuando un invidente desea visitar un nuevo lugar que aún no ha visitado (Imagen 24), pero también se emplean como dispositivos de ayuda en entornos colectivos.

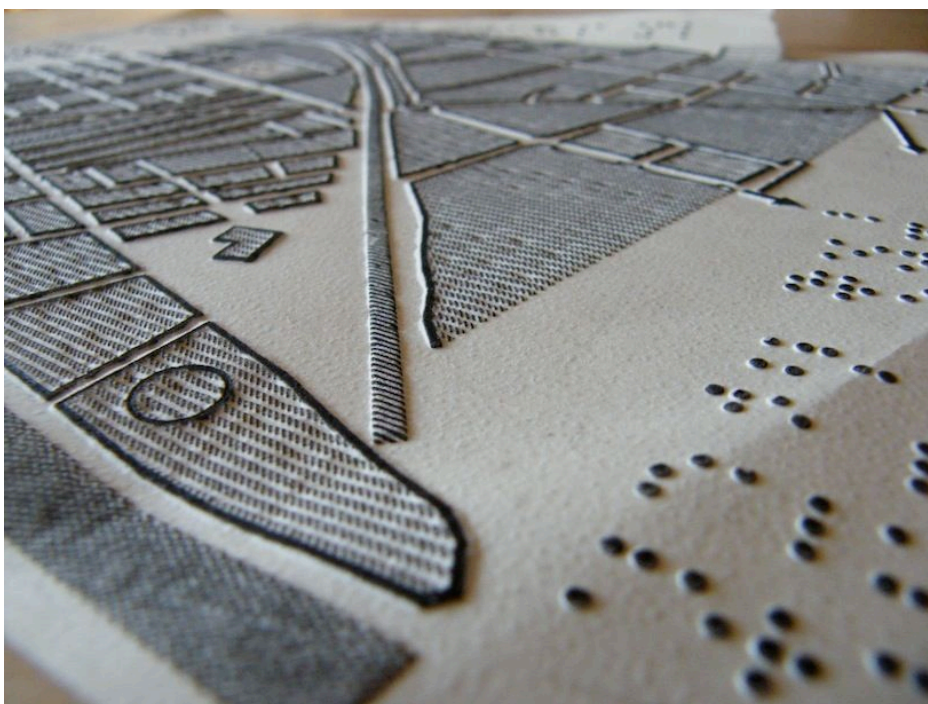


Imagen 24: Plano táctil de un área de la ciudad de Barcelona, empleado en el proceso de aprendizaje de un recorrido.

Por otro lado, la persona invidente que lee un plano táctil tiene que ir construyendo su propia estructura espacial mentalmente, es decir, su mapa cognitivo del lugar (Jacobson, 1998; Ungar, 2000; Sanabria, 2010), a medida que va explorando secuencialmente el dispositivo, empleando para ello su memoria háptica (Harder & Michel, 2002). En este proceso de exploración el usuario

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

puede generarse un esquema de un recorrido organizando mentalmente éste a partir de los ítems que se destacan en el plano del entorno real y que le ayuden a ubicarse o a conocer cómo llegar a un determinado sitio (Imagen 25).

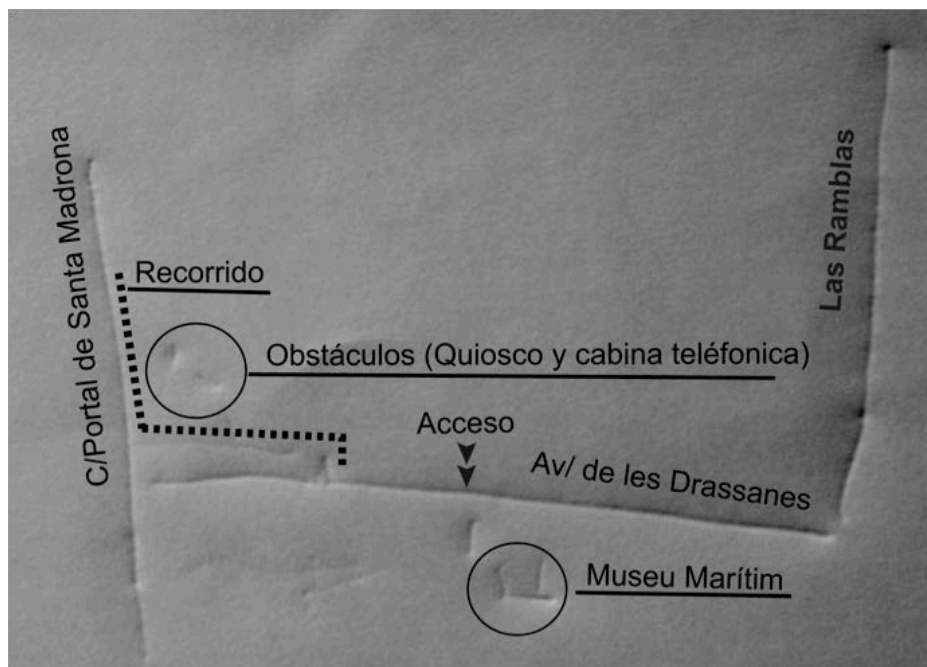


Imagen 25: Mapa cognitivo, con indicaciones añadidas, realizado por un invidente sobre una zona urbana para aprender un recorrido en la ciudad. El trazo del usuario invidente se aprecia en relieve.

En relación a cómo sucede este proceso, se ha asentado un protocolo de actuación en el que, generalmente, el usuario ciego requiere primero aprenderse el itinerario con la ayuda de Técnicos de Rehabilitación (o personas próximas). Una vez aprendido éste, se realiza la ruta aprendida en el contexto real, y esto se hace las veces que sea necesario hasta que el usuario con discapacidad visual se sienta seguro de realizar la ruta de manera autónoma y la haya aprendido completamente. Este proceso puede durar desde una jornada, si la ruta es corta y sencilla, a varias si la ruta es larga y compleja, las habilidades previas del usuario son fundamentales para concretar la cantidad de veces que se debe repetir la ruta para su aprendizaje.

Pero en la práctica, no siempre es posible realizar un plano personalizado para cada caso concreto, así también es habitual realizar la ruta directamente en el contexto específico prescindiendo del uso de un plano táctil para su aprendizaje previo. Si bien, algunos estudios muestran que los usuarios invidentes prefieren consultar estos productos antes en casa, con calma, para poder así memorizar el recorrido antes de realizarlo (Rowell & Ungar, 2005), ya que uno de los principales problemas de algunas de estas personas es la ansiedad ante las experiencias emocio-

nales con espacios desconocidos, ruidosos, complejos y su movilidad en ellos (Miguel-Tobal, Escalona, & Lillo, 1992).

Así el papel del Técnico de Rehabilitación, en nuestro país realizado por personal cualificado de la ONCE, consiste, entre otros aspectos, en enseñar a orientarse a estas personas y para ello emplean una gran variedad de recursos, entre los que se encuentran el uso del bastón blanco (Imagen 26), el perro guía o dispositivos tecnológicos entre otros.

Los planos táctiles además se pueden emplear como soporte de consulta durante la propia realización de la ruta, esto supone que la persona con discapacidad visual lleva consigo el plano mientras realiza la ruta y puede consultarlo in situ (Imagen 27). Esto hecho, no muy habitual a tenor de la preferencias de uso de estos dispositivos (Rowell & Ungar, 2005), implica que el producto sea portable y manejable. La consulta se realiza de manera un tanto singular, pues si no se encuentra espacio sobre el que situar al plano, la persona invidente lo sitúa sobre su barriga en posición vertical y en su sentido correcto para poder leer el Braille y la información que contiene, una acción un tanto incómoda en tanto se suele aguantar además el bastón blanco en ese mismo instante.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES



Imagen 26: Usuario invidente en un paso de peatones ayudándose del bastón blanco.



Imagen 27: Invidente consultando un plano táctil in situ.

Por otro lado, también se hace necesario nombrar que estos dispositivos táctiles no siempre tienen un uso individual. Evidentemente los planos o maquetas táctiles para la orientación y comprensión del entorno también se emplean en espacios de uso colectivo en los que cualquier

usuario puede consultarlos. Es el caso de algunos espacios del patrimonio arquitectónico y urbanístico que afortunadamente, y con el paso del tiempo, están implementado este tipo de productos para facilitar la accesibilidad y la inclusión de todos a sus instalaciones (Imagen 28). Estos planos o maquetas fijos exponen un nuevo problema, que es el cómo llegar a ellos de una manera autónoma, pues precisan la ayuda, de nuevo, de terceros, que al menos acerquen al visitante invidente al lugar en el que se sitúe el dispositivo táctil. Después de acceder a él, además, el plano deberá ser eficiente para que su empleo sea útil.



Imagen 28: Plano táctil situado en un patio interior de la Casa Milà (La Pedrera, Barcelona)

a. Requerimientos de diseño en los planos táctiles

Respecto los requerimientos de diseño de planos táctiles existe una variada literatura al alcance de los interesados (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Comisión Braille Española, 2012; The Braille Authority of North America, 2011; Gardiner & Perkins, 2002; Lillo Jover, 1992; Schiff, 1982; Purdue Research Foundation, 2002; Rowell & Ungar, 2005; Tevelyan, 1986; Kwok, 2005). Aunque uno de los manuales más populares y extendido es el de Polly Edman (Edman, 1992) que abarca todo el espectro de los gráficos tangibles, incluyendo sus apartados relativos a planos y símbolos táctiles. A continuación se expondrá los aspectos más fundamentales que nos muestra esta variada literatura.

Primeros aspectos conceptuales

Algunos de los primeros aspectos que cabe cuestionarse en el diseño de un plano táctil es el modo, la cantidad de información a exponer y el tamaño del plano que la contendrá. Respecto al modo se debe adoptar siempre la solución más simple y clara posible. En relación a la cantidad, el diseñador debe cuestionarse qué información es la estrictamente necesaria e incluir sólo la verdaderamente significativa al propósito de su uso y, siempre, atendiendo a las habilidades de su audiencia, es decir, el proyectista debe cuestionarse preguntas tales como ¿son usuarios experimentados?, ¿poseen estrategias de exploración?, ya que una gran cantidad de información o información expuesta de un modo complejo, por ejemplo con mucho detalle, puede producir confusión en el manejo del plano. Un buen plano táctil debe ser simple, sintético y, a ser posible, descongestionado de elementos, ya que la agudeza táctil es menor que la visual.

En el caso de que se deba exponer necesariamente mucha información, conviene emplear dos o más planos relacionados que secuencialmente la expongan a los usuarios. Dividiendo la información en partes se podrá disponer de planos más legibles al tacto que un único plano con todos los ítems requeridos. Por otro lado, en relación al tamaño de plano, se suele preferir planos con un tamaño que pueda ser abarcado con las dos manos simultáneamente, así un formato A3 puede manejarse empleando las dos manos al mismo tiempo, ya que la falta de “visión” global de la memoria háptica impide establecer relaciones inmediatas entre ítems como sí sucede en el caso del fenómeno visual. Además un formato grande no es necesariamente mejor, ya que grandes distancias entre los ítems táctiles pueden alargar el proceso de exploración y ser un inconveniente en el transporte si el plano va a ser manejado, por ejemplo, in situ. Por último, conviene también indicar en el plano los datos esenciales de éste: título, escala, orientación, fecha, etc.

A continuación se describen algunos aspectos de diseño con más detalle que se deben tener en cuenta para realizar un plano táctil. Se trata de aspectos físicos como la escala, la elevación del relieve, el uso de etiquetas y leyendas y, por último algunos aspectos de diseño inclusivo.

Aspectos físicos

a) La escala

En otro orden de cosas, cabe preguntarse sobre la escala del plano. En este punto se debe tener en cuenta al menos dos factores, uno que el código Braille tiene un tamaño constante (Comisión Braille Española, 2005) y que este no puede variar o acomodarse a la escala, a pesar de que sí lo puedan hacer el resto de elementos representados, y en segundo lugar que los elementos de

diseño que se empleen en el interior del plano, incluyendo los símbolos, deben obedecer a un tamaño y distancia mínima entre ellos para mejorar su perceptibilidad y discriminación en el plano. Como se ha mencionado anteriormente, puede que, en un momento dado, sea necesario utilizar más de un plano, de esta manera un primer plano puede considerar información general que abarque un área grande, es decir, una escala pequeña y el plano o planos que se muestren posteriormente pueden ampliar el área con una escala más grande, próxima a la naturaleza representada y con información más detallada. El rango de escalas obviamente varía en función de los objetivos de éste, pero ésta puede ser desde 1:1800 en pequeñas áreas o 1:30000 en planos generales, obviamente este rango es únicamente orientativo. Aunque la consistencia de la escala no debe nunca impedir una lectura clara del símbolo o los elementos de los que consta el plano, siendo práctica habitual que ciertas distorsiones o transgresiones de ésta pueden ayudar a facilitar la lectura. En este sentido, el dispositivo táctil se debe plantear siempre desde una síntesis y esquematización de la realidad (Tevelyan, 1986).

b) Elevación del relieve

Respecto a la elevación de los elementos en relieve y a su mínima altura perceptible al sentido del tacto existe una variada literatura con distintos tipos de recomendaciones (Berlá, 1982; Jehoel, Sowden, Ungar, & Sterr, 2009; Jehoel, Dinar, McCallum, Rowell, & Ungar, 2005). La altura mínima para identificar un elemento en relieve es 0.2 mm (Jehoel et al., 2006), aunque para su uso efectivo en un plano se suelen emplear alturas de 0.4-0.5 mm como mínimo. Evidentemente el control de la elevación de los elementos del plano dependerá del sistema de producción de éste, el microencapsulado no permite mucha variación, mientras que el termoconformado y la Impresión en 3D sí que permiten realizar contrastes de altura (Véase Producción de planos táctiles en página 76). Este último aspecto es de vital importancia en la realización de un plano ya que facilita la discriminación de los elementos con distinta altura debido a que el sentido del tacto es altamente sensible a las diferentes elevaciones. Edman recomienda emplear distintos niveles de altura, un mínimo de 0.5 mm para el Braille; entre 0.5 y 1 mm para símbolos tipo texturas; 1 mm para líneas en relieve y, por último, 1.5 mm para elementos puntuales.

En el *European Symposium on Tactual Maps* de 1983 se establecieron, sin embargo, 4 diferentes niveles jerárquicos en la altura en para la representación de elementos que configuran el mapa de una ciudad: un nivel 1 con 2 mm para las calles; un nivel 2 con 3 mm, para pavimentos, nombres de las calles, paradas de bus, etc.; un nivel 3 con 3.5 mm para edificios, puentes entre

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

otros; y un último estrato, nivel 4, con más de 3.5 mm para la identificación de torres, edificios altos y puntos significativos y destacables.

c) Etiquetas y leyendas

Normalmente, la información que muestra un plano se puede presentar de distintas maneras. Una recurso interesante es el empleo de etiquetas, es decir, de descripciones cortas a partir de, por ejemplo, abreviaciones o números que se incluyen directamente en el plano. Estas tienen la ventaja de indicar la información en el plano, pero no siempre es posible utilizarlas atendiendo a los aspectos citados anteriormente, es decir, a las condiciones marcadas por el tamaño constante del código Braille, ya que puede generar confusión al incluir demasiada información en un mismo conjunto de elementos. En este caso, un segundo recurso que sirve para descargar parte de la información contenida en el plano y que ayuda a sintetizar la información en éste y por lo tanto a facilitar su lectura táctil es el empleo de leyendas, es decir de un listado de los elementos táctiles que se emplean en el plano, abreviaciones y/o números en la que se explica el contenido que representa cada elemento de la lista. Las leyendas pueden ir acompañando al plano o bien separadas de éste y deben incluir el título y otras recomendaciones como realizar las descripciones en Braille a la derecha de los símbolos, situar las abreviaciones o números con un orden lógico (alfabético, de menor a mayor), emplear a ser posible una única columna y si se emplean dos no distanciarlas demasiado para que la segunda columna pueda ser detectada, etc. (Imagen 29).

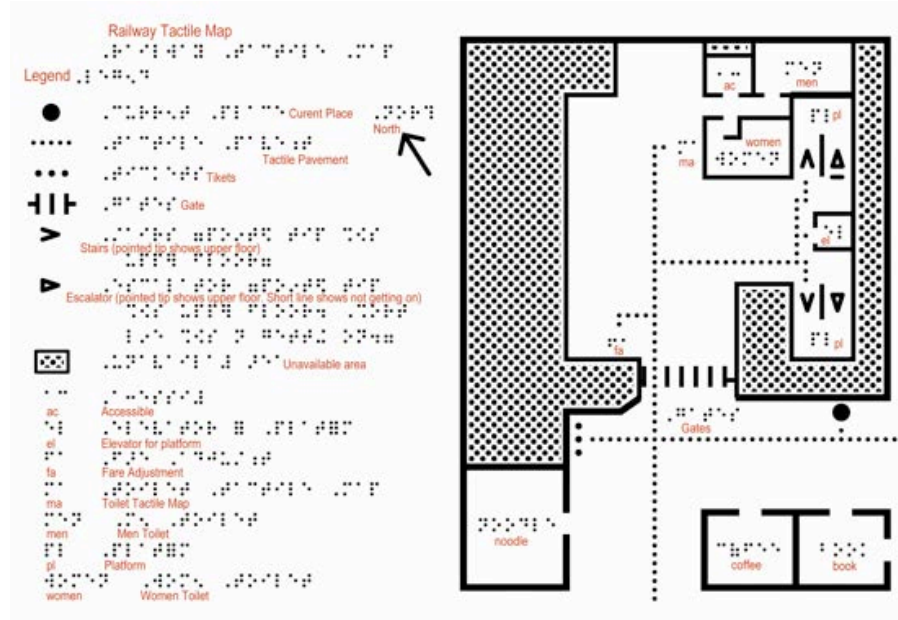


Imagen 29: Plano táctil con leyenda de símbolos en la parte izquierda. Fuente de la imagen: (Fujimoto, 2005).

Aspectos de de diseño inclusivo y otras consideraciones

Por último, si la información representada en relieve se acompaña también en determinadas condiciones de contraste de color y texto en macrotipo, además de en Braille, el diseño de estos planos abarcarán un mayor rango de usuarios, en sintonía con la filosofía del Diseño Inclusivo (Clarkson et al., 2003), ya que las personas videntes y con restos visuales, estos últimos el mayor grupo de usuarios con discapacidad visual (INE, 2008), también podrán emplear estos dispositivos. Así hay que tener en cuenta aspectos visuales en el uso de contraste cromático e incluir esta información de tal manera que no interfiera en la configuración en relieve, por ejemplo, es preferible que si se emplea texto acompañando de Braille que el texto se sitúe en la parte superior de tal manera que si un invidente está leyendo el Braille, su mano no tape el texto gráfico. Del mismo modo, se debe atender a la tipografía empleada tanto en su familia como fuente de texto, como a su tamaño, proporción y disposición para facilitar la lectura de personas con deficiencia visual.

En este sentido, en la elección del carácter tipográfico conviene emplear fuentes del tipo Helvética por ejemplo, ya que tiene un óptimo equilibrio entre cuerpo y espacios interiores (blanco interno) entre otros aspectos. Se debe atender además a una composición del texto adecuada en términos de justificación, en el espaciado entre letras y columnas y en el interlineado (VV. AA., 2003), por ejemplo, el espaciado entre caracteres debe ser ente un 5% o 10% mayor al empleado con una utilización automática. En cualquier caso existe una normativa específica (UNE 17002, Requisitos de accesibilidad para la rotulación) a cerca de la rotulación accesible (ONCE, 2006).

Ahora bien, la mayoría de las pautas de diseño publicadas para el diseño de planos en relieve se centran en aspectos relacionados con los dos principales métodos de producción: el microencapsulado y el temoconformado. Estos procesos de fabricación presentan limitaciones para la reproducción de determinadas entidades volumétricas y con ello muestran carencias en la presentación de cierta información expresada en los planos. Las nuevas técnicas de prototipado rápido, como la estereolitografía, el sintetizado láser o la impresión en 3D permiten solucionar la representación de esta información de un modo diferente al tradicional, con una mayor riqueza volumétrica (Chua, Leong, & Lim, 2003; Kamrani & Nasr, 2006). Esto permite extender las posibilidades de mejora de los dispositivos táctiles orientados a comprender el entorno.

b. Símbolos táctiles: los elementos conceptuales de diseño de un plano táctil

Respecto a la simbología que se usa al confeccionar un plano táctil, cabe hablar primero de qué es un símbolo táctil. Así, tal y como sucede con los símbolos visuales (Frutiger, 2000), se puede decir que un símbolo táctil es aquel elemento en relieve que facilita la comprensión de un mensaje determinado de una manera más rápida que el lenguaje escrito. Así el símbolo que se incluye en un plano contiene y describe una información determinada, un mensaje que facilita la eficiencia de la lectura, en este caso de un plano táctil, de un modo más rápido que el propio código Braille, eso sí después de haber sido memorizado previamente con la ayuda de una leyenda o mediante descripción verbal.

La simbología táctil ha sido ampliamente estudiada, sobretodo desde la cartografía (Rener, 1993). El reconocimiento, la legibilidad, la discriminación, la memorización de los símbolos y el soporte físico son algunos de los factores que diversos estudios han tomado en cuenta para verificar la usabilidad de éstos y el empleo eficiente en planos (Gill & James, 1972; Lambert & Lederman, 1989; McCallum et al., 2006; Tevelyan, 1986). Evidentemente, todo este conocimiento se puede emplear en el diseño de planos para la orientación en el patrimonio construido, como es el caso de este estudio.

Existe una clasificación extendida en el estado del arte que agrupa a los símbolos táctiles en tres grandes bloques según su forma (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982): símbolos de carácter puntual, lineal y símbolos superficiales (áreas-texturas), cada uno de estos tipos se emplean para exponer contenidos informativos particulares. Los símbolos puntuales representan, en planos de movilidad, localizaciones concretas, los lineales pueden expresar dirección y orientación, y las áreas-texturas cubrir zonas determinadas.

Como se observa estos símbolos provienen del ámbito bidimensional, ya que coinciden con los tres elementos de diseño gráfico o pictórico³. En cualquier caso, existen antecedentes de elementos volumétricos empleados como símbolos en planos táctiles, se trata, por ejemplo, del mapa topográfico de la península ibérica confeccionado por Francisco Just i Valentí en 1879 para enseñar geografía a sus alumnos ciegos y que actualmente se expone en el Museo Tifológico de la

3. En este sentido, ya en 1926 un artista emblemático de las vanguardias artísticas, Wassily Kandinsky de la Bauhaus, escribió su célebre libro sobre aspectos teóricos de la pintura: Punto y línea sobre el plano: contribución al análisis de los elementos pictóricos (Kandinsky, 1983) reconociendo cuáles eran los “ingredientes” fundamentales para generar una composición pictórica, que precisamente eran estos tres.

ONCE en Madrid, en él se aprecia el uso de prismas básicos que posiblemente fueron empleados como símbolos por su fácil discriminación y reconocimiento en un mapa de grandes dimensiones (Imagen 30).



Imagen 30: Detalle del mapa topográfico de la península ibérica y de su leyenda con símbolos volumétricos.

Requerimiento de diseño de los símbolos táctiles.

Los mismos manuales de requerimientos de diseño dedican secciones particulares a estos elementos (Edman, 1992; Wiener, Blasch, & Welsh, 2010). De manera resumida y desde la óptica del diseño y la usabilidad, la dificultad de identificar símbolos en un plano aumenta con la cantidad empleada en éste. Por lo tanto, el uso de símbolos en un plano siempre será el mínimo posible: a partir de 6 puede que una persona invidente empiece a tener dificultades para memorizarlos (Amick et al., 2002), 15 según Landau (Landau, 1999). El espaciado entre símbolos para su correcta diferenciación en el relieve no deberá ser menor de 3 mm. Algunos símbolos es mejor no emplearlos juntos pues tienden a confundirse, por ejemplo dos círculos de tamaños similares, uno representado sólo en contorno, sin relleno superficial, y otro con relleno. El tamaño mínimo para reconocerlos ronda los 5 mm de lado en vista en planta. Por otro lado, cuando las aristas que conforman el contorno de los símbolos en relieve sean más agudas, es decir, más afiladas, éstas serán más fáciles de percibir que si las aristas son redondeadas (Jehoel et al., 2006). La definición en este apartado es importante (Imagen 16).

Los símbolos dentro de su respectivo grupo deben escogerse siguiendo criterios de legibilidad y discriminación (Amick et al., 2002; Edman, 1992; Nolan & Morris, 1971). La amplia literatura al respecto señala una serie de símbolos que habiendo sido evaluados en su uso son discriminables entre ellos mediante el sentido del tacto (Imagen 31). Normalmente el criterio de evaluación corresponde a pruebas empíricas en las que los símbolos seleccionados han obtenido unos ratios bajos de errores, por ejemplo un 5% según el *Tactile Graphics Kit* de la *American Printing House for the Blind, Inc.* (Amick et al., 2002) o entre un 5 y un 10% según los estudios de Edward P. Berlá (Berlá, 1982). Otras disciplinas, como la ergonomía cifran este criterio en la barrera del 85% de aciertos (Lehto & Buck, 2008). A continuación se describe algunos de los aspectos más importantes de cada grupo:

a) Símbolos puntuales

Los símbolos puntuales suelen representar ubicaciones concretas en un plano táctil, pero en realidad se trata de abstracciones, ya que no representan características como tamaño y/o forma de los ítems que representan, al contrario que las líneas y texturas, y pueden representar el ítem o mensaje que el diseñador considere más oportuno. El significado del mensaje debe explicarse en una leyenda y siempre deben separarse de los otros elementos del plano al menos 3 mm, de esta manera se asegura su localización y reconocimiento táctil. Su tamaño debe ser perceptible me-

diante los dedos y deben ser lo suficientemente grandes como para poder ser localizados en el plano y entenderlos correctamente, una dimensión mínima de 5 mm en planta es necesaria para tales efectos. En este sentido, también se pueden emplear variaciones de tamaño y altura si se utilizan formas (símbolos) similares representando diferentes contenidos en un mismo plano táctil. Por otro lado, se recomienda que éstos no sean excesivamente figurativos ya que un símbolo simple es más fácil de entender que uno complejo, aunque existen formas simples que se asocian con la realidad de manera natural, como una cruz representando la ubicación de una Iglesia o cementerio, o un cuadrado representando una cabina de teléfonos.

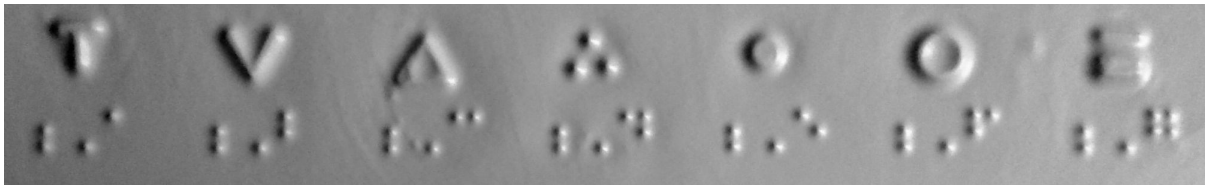


Imagen 31: Ejemplo de una serie de 7 símbolos puntuales discriminables realizados mediante termoconformado. Fuente tactile Graphic toolkit.



Imagen 32: Ejemplo de una serie de símbolos puntuales producibles desde cualquier proceso (Fuente: Tactile Graphics).

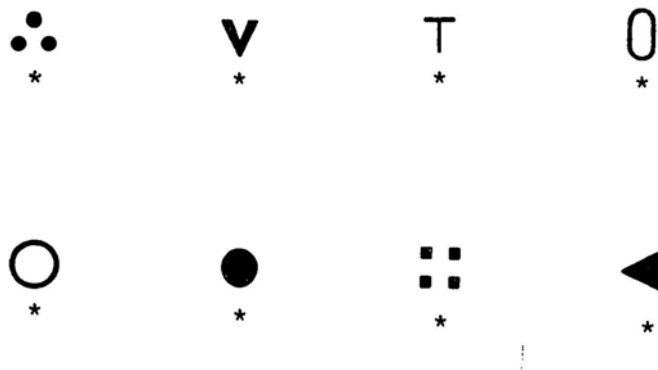


Imagen 33: Ejemplo de una serie de símbolos puntuales reproducibles desde cualquier tipo de proceso (Fuente: Nolan & Morris).

b) Símbolos lineales

Los símbolos de carácter lineal, por su parte, sirven para indicar tanto ubicación como dirección. Las líneas en relieve pueden emplearse como elementos estructurales que definen una figura, objeto, país, etc., en su contorno, o incluso pueden utilizarse para enfatizar otros símbolos como por ejemplo cercando un área- textura en relieve de manera que se definen mejor los límites de este elemento superficial. Además pueden emplearse como elementos auxiliares al gráfico tangible, conectando puntos entre sí, en este sentido se suelen acompañar de flechas en sus extremos.

Este último elemento, el símbolo flecha, merece un tratamiento a parte, ya que se trata de un símbolo intermedio entre un elemento puntual y lineal, que además no se suele incluir en las leyendas. Se suelen emplear para indicar sentido, por ejemplo en el sentido de subida de las escaleras o también para señalar entradas y salidas de edificios, aunque se recomienda emplearlo con prudencia por varios motivos, uno por descongestionar el plano y facilitar así su lectura; otro porque algunos invidentes no reconocen la flecha como tal con facilidad (Algunos estudios han abordado con cierta profundidad este fenómeno (McCallum et al., 2006)) y además la posibilidad del cambio de orientación de la flecha en el plano dificulta que sea percibido como el mismo elemento. En su lugar se puede emplear abreviaciones en Braille identificadas con su mensaje en la leyenda.

Los símbolos lineales en relieve pueden tener diferentes anchos, alturas, perfiles y formas (Imagen 34). Esto permite una alta variación en su uso dentro de un plano táctil. Las líneas paralelas con una separación inferior a 6 mm tienden a percibirse como una única línea, aunque Jehoel apunta que 1.3 mm de separación es suficiente (Jehoel et al., 2006). El ancho mínimo para discriminar dos líneas de similar forma entre ellas sigue una fórmula matemática propuesta por Berlà y Mur (Berla & Murr, 1975b) y consiste en incrementar, como mínimo, un 25 % el valor de la línea original, por ejemplo, una línea de 5 mm de ancho dará como resultado $5 \times 0.25 = 0.3125$; $0.3125 + 5 = 5.3125$, es decir, que 5 mm y 5.3 mm son anchos discriminables y reconocibles como diferentes. En otro orden de cosas relativas al diseño se debe prestar atención al cruce de líneas en el plano, hecho más o menos común en cualquier gráfico tangible, de manera que se empleen interrupciones entre líneas dando prioridad a la continuidad de la más importante, además para conseguir este mismo resultado, el de la distinción entre dos líneas que se cruzan, se pueden emplear diferentes alturas en éstas. Por otro lado, para las líneas discontinuas de puntos se reco-

mienda emplear unos 25 puntos por cada 2.5 cm de largo; y las de trazos rectos, según algunos experimentos, deben tener unos espacios entre trazos aproximadamente la mitad de largos que éstos, los trazos deben tener una dimensión de entre 6 y 9 mm para que no se confunda una línea de este tipo con una sólida y continua.

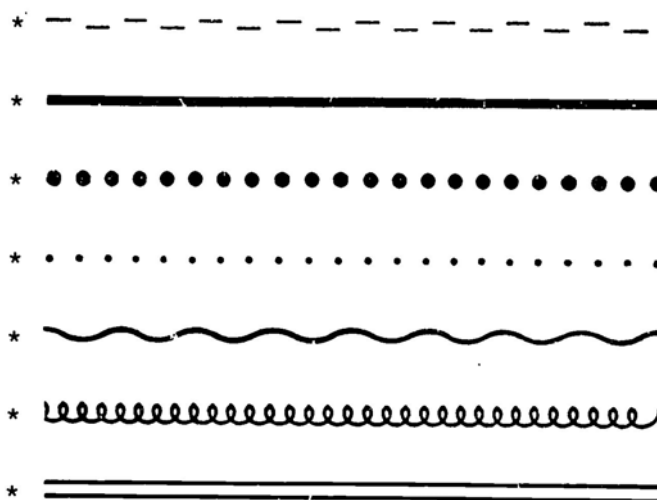


Imagen 34: Imagen de una serie de líneas discriminables entre ellas (Fuente: Nolan & Morris).

c) Áreas-textura

Por último, los símbolos tipo área, en realidad texturas, se emplean para representar zonas concretas y comunican la forma, tamaño y ubicación del ítem que se representa abarcado su superficie: por ejemplo zonas verdes, zonas de agua, recorridos destacables, edificios, etc. Como en los casos anteriores existen diversas recomendaciones avaladas por pruebas empíricas que señalan grupos de texturas discriminables entre sí y que se pueden emplear en la configuración de un plano táctil (Imagen 35).

Las variación entre ellas abre muchas posibilidades de combinación y de diseño a partir de patrones preestablecidos en programas de dibujo vectorial. El tamaño mínimo que deben abarcar es difícil de determinar porque este hecho depende del propósito y forma de la representación, pero viene a ser el de un cuadrado de 5 x 5 cm. La rugosidad en las texturas es un aspecto fundamental y aquellos casos en los que se requiere priorizar un área sobre otra es recomendable que el área más importante se encuentre representada por una superficie más rugosa al tacto que el resto, ya que así es más fácil de diferenciar. Respecto la altura de las texturas, éstas deben ser las menos elevadas del dispositivo, por debajo de las líneas y de los símbolos puntuales (los más

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

altos), ya que una superficie con textura es muy fácil de detectar por el área relativa que abarca dentro del conjunto del plano.

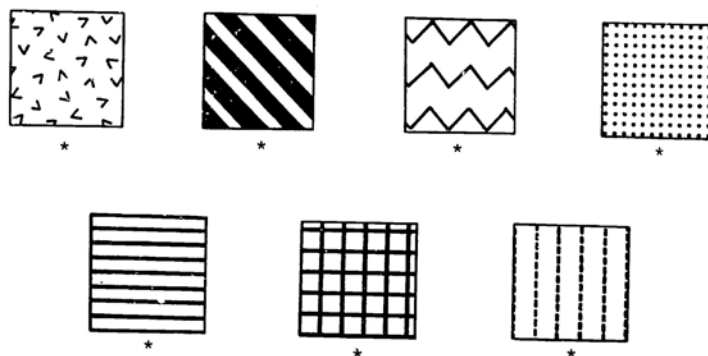
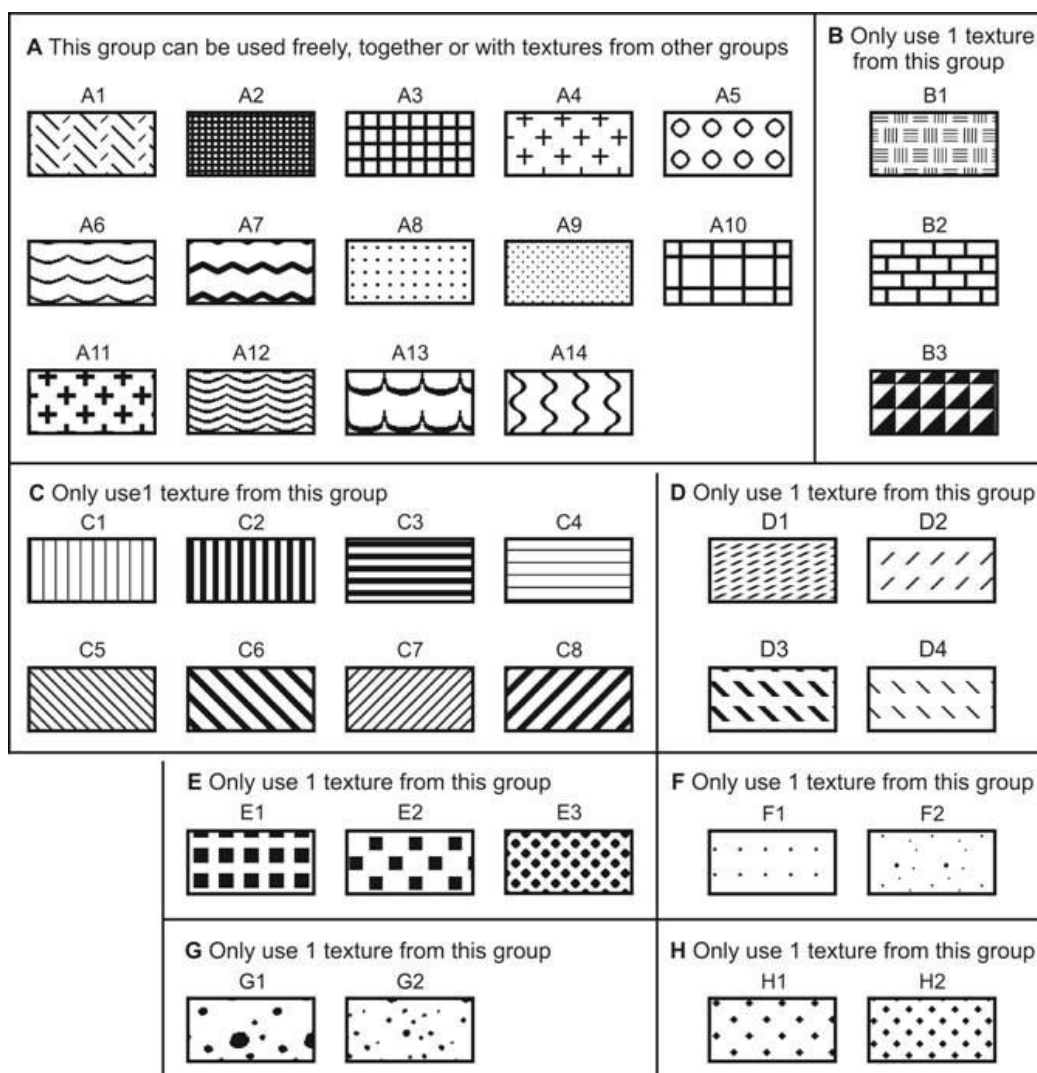


Imagen 35: Imagen de diferentes texturas discriminables entre sí empleables en planos táctiles Fuente: Nolan & Morris.

Estandarización símbolos

La estandarización de la simbología táctil en los planos de movilidad es un tema demandado por los agentes implicados pero, al mismo tiempo, controvertido, por la dificultad de llegar a acuerdos eficientes entre ellos, a pesar de que, por un lado, han existido intentos como la propuesta en la *International Conference on Mobility Maps* en Nottingham, en 1972 (James, 1982; Perkins, 2002), o el *First European Symposium on Tactual Town Maps for the Blind* en Bruselas, en 1983 (*First European Symposium on Tactual Town Maps for the Blind*, 1984), y que, por otro lado, algunos países, como Australia desde su *Australian Division of National Mapping* (ADON., 1986; Goodrick, 1987), Brasil, desde Universidade Federal de Santa Catarina mediante el *Laboratório de Cartografia Tátil e Escolar* (LabTATE) (Nogueira, 2009), EE. UU y Canadá, desde la *The Braille Authority of North America & Canadian Braille Authority* (The Braille Authority of North America, 2011) o Japón desde el proyecto *Standardization of Display Methods for Tactile Guide Maps* (Fujimoto, 2005) entre otros, han adoptado ciertos estándares o están trabajando en ello (Imagen 36).



© 2010 Royal National Institute of Blind People (UK),
used by BANA/CBA with kind permission.

Imagen 36: Grupos de texturas discriminables para el uso en plano táctil (Fuente-autor: The Braille Authority).

De esta manera, en la actualidad la selección del símbolo y la de su relación con el contenido de un plano táctil depende del criterio del diseñador, teniendo éste a su alcance una gran variedad de recomendaciones de diseño avaladas por pruebas empíricas (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; The Braille Authority of North America, 2011; Gardiner & Perkins, 2002; Lillo Jover, 1992; Schiff, 1982; Purdue Research Foundation, 2002; Rowell & Ungar, 2005; Tevelyan, 1986; Kwok, 2005). Así, el papel del diseñador consiste, entre otros aspectos, en seleccionar los símbolos adecuados, fácilmente reconocibles y discriminables al tacto, para mostrar unos contenidos concretos y, después, emplearlos en el plano con criterio, sobre todo atendiendo

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

al espacio libre alrededor de ellos. Aunque también puede diseñar sus propios símbolos, como en este estudio.

c. Producción de planos táctiles

Por otro lado, en lo relativo a la fabricación de planos táctiles, los métodos de producción serializada más usuales son el termoconformado, el microencapsulado y el denominado *embossed* (punzonado) (Rowell & Ungar, 2003b). Aunque se suelen generar planos táctiles con otros métodos manuales como por ejemplo el *collage* para la realización de series cortas o piezas únicas (Imagen 37).

También se emplean métodos como el fresado (mecanizado) con control numérico (CNC) de aluminio (Imagen 38), acero o polímeros, o la fundición de metal para generar piezas duraderas, normalmente únicas. Y, evidentemente existen más métodos, Polly Edman cita hasta 17 formas diferentes de producir un gráfico tangible (Edman, 1992). Aquí nos centraremos en la más extendidas.



Imagen 37: Plano táctil del Centro de Interpretación del Parque Natural del Delta de l'Ebre (Tarragona) realizado mediante técnicas artesanales.

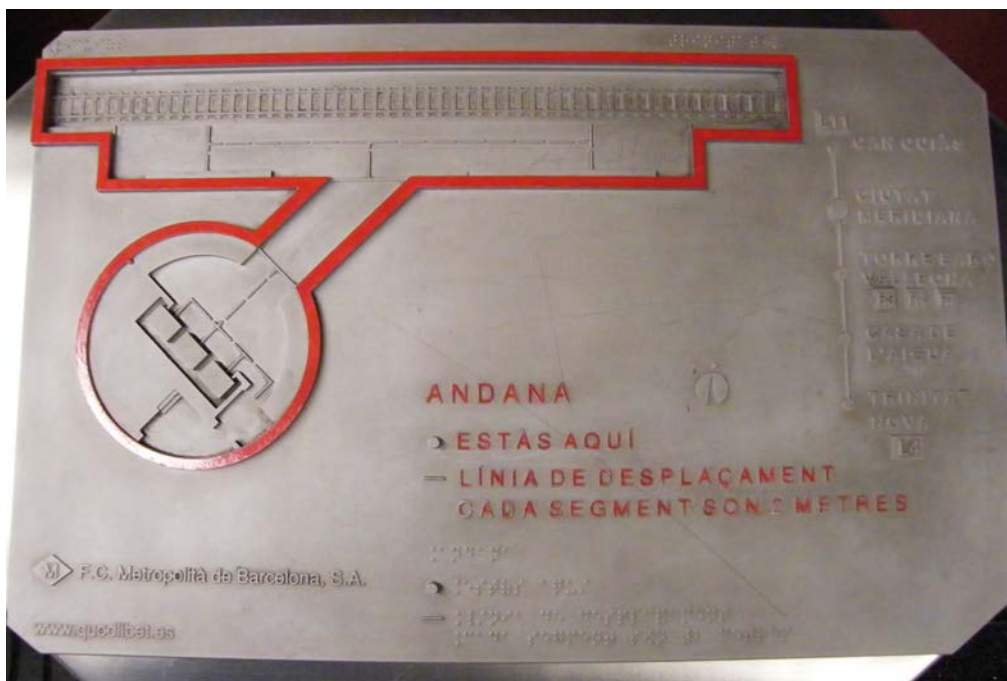


Imagen 38: Plano en relieve de Transports Metropolitans de Barcelona realizado en aluminio mecanizado.

Lo cierto es que en este sentido, el estado de la técnica se encuentra siempre en desarrollo como en el caso de la impresora *Inkjet* para la producción de planos táctiles desarrollada bajo el programa *Tactile Inkjet Mapping Project*, en Reino Unido (Jehoel et al., 2005; McCallum & Ungar, 2003; McCallum, Ahmed, Jehoel, Dinar, & Sheldon, 2005), una impresora que permite imprimir gráficos en relieve.

A continuación se describe los aspectos más importantes de los métodos de producción tradicionales: termoconformado, microencapsulado y punzonado, y además uno de los métodos más significativos empleados en este estudio, la Impresión en 3D:

Termoconformado

El proceso de termoconformado para la realización de planos táctiles (Imagen 39) es idéntico al empleado en la industria para otros productos similares (Schey, 1987). Una lámina fina de polímero termoplástico (PVC, PE, PET, etc.) se sitúa sobre un modelo para que mediante presión, normalmente al vacío, y aportación de calor, la lámina de plástico cubra el modelo reproduciendo la forma de éste. La elaboración de este tipo de planos supone primero la generación de un modelo físico (en positivo o en negativo), el cual se suele realizar mediante mecanizado o artesanalmente a partir de ciertos kits que lo permiten. Una vez realizado el modelo definitivo éste se aprovecha para realizar series más o menos largas en función de las necesidades. La lámina táctil

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

termoconformada resiste bien la degradación que supone un uso más o menos continuado de ella y actualmente también se emplea policromada y con texto, es decir se imprimen elementos gráficos sobre ella, para que su uso pueda extenderse no sólo a personas invidentes, sino a todas las personas. Este sistema permite la variación de altura en el relieve y reproducir ciertas formas geométricas con determinadas limitaciones marcadas por la idiosincrasia del propio proceso, por ejemplo, se debe prever un ángulo mínimo de salida-extracción para esta lámina de plástico, y el modelo resultante no define con precisión las aristas vivas, hechos que condicionan el tipo de geometría a emplear. Su formato flexible y su escaso peso permiten una fácil portabilidad.



Imagen 39: Plano táctil termoconformado de América del Sur.

Microencapsulado

El microencapsulado (Imagen 40), por su parte, consiste en la expansión de unas microcápsulas sobre un determinado tipo de papel que las contiene (*swell paper*/papel químico) en su configuración. Estas microcápsulas, en base alcohol, sólo se expanden bajo la suma de dos condiciones: una que sobre el papel se haya impreso el color negro o otro color que lo contenga, y otra, como en el termoconformado, es la aplicación de calor. Normalmente este calor se aplica sobre el papel para expandir las microcápsulas bañadas en negro mediante un horno especial (Horno

Fúser). Finalmente se obtiene un relieve de altura constante sólo en las zonas que en el papel se imprimieron en negro. Este sistema admite poco control sobre la variación de altura. Se puede emplear para series cortas aunque normalmente su uso puede centrarse en una única copia. La lámina táctil conseguida mediante este proceso presenta una degradación al uso mayor que la del sistema de termoconformado y se puede utilizar gráficos visuales en ella empleando con cuidado ciertos colores que se puedan copiar al papel químico pero que no contengan el color negro para que no se expandan en el horno Fúser. También se le conoce como lámina Fúser o Minolta.

La elaboración de este tipo de planos requiere dibujar el plano visual con los requerimientos adecuados al uso táctil sobre cualquier tipo de papel, fotocopiarlo sobre la lámina fúser e introducirlo en el horno para que expandan las zonas deseadas. Su uso es específico del ámbito de la formación de personas con discapacidad visual, no teniendo parangón en la industria, hecho que limita su desarrollo técnico. Su formato en papel permite su fácil transporte, ya que es ligero y flexible. Algunos autores como Laura Blanco han desarrollado sistemas que acercan a cualquier interesado la realización de este tipo de planos mediante programas de ofimática convencionales como el el procesador de texto Microsoft Word (Blanco-Zárate, 2006).

Existen diversos estudios que comparan los dos sistemas nombrados hasta el momento (Perkins, 2001; Pike, Blades, & Spencer, 1992) y éstos apuntan hacia sólo unas ligeras diferencias entre ellos.



Imagen 40: Plano táctil de una zona concreta de Barcelona realizado mediante microencapsulado.

Grabado en relieve- embossed

Por otro lado, el sistema de *embossed* (Imagen 41) consiste en la realización de un relieve sobre el papel mediante punzonado bien manual con instrumentos y kits especiales para tal efecto, o bien automático con una máquina de impresión Braille o similares. Aunque actualmente su uso no es tan habitual como los dos sistemas anteriores, este proceso ha sido extensamente empleado en tiempos pasados para la realización de gráficos tangibles. Mediante este sistema de generación de relieve se consiguen unos gráficos tangibles similares en formato a los gráficos microencapsulados, pero a diferencia de éstos no suelen incorporar variación cromática ni texto impreso. Tampoco permite un buen control sobre la variación en altura del relieve y su degradación es similar al proceso anterior, ya que su base es papel que con el uso continuado acaba erosionándose y difuminando el relieve. Se puede realizar a partir de modelos digitales con programas de ofimática e incluso mediante software que traduce el contorno de la imagen en una serie lineal de puntos, antes de mandarlo a la impresora Braille. Algunas impresoras Braille más avanzadas pueden incluso imprimir en color (*View plus*). Su uso, como en el caso del microencapsulado, se centra únicamente en el ámbito de los recursos táctiles, hecho que impide un desarrollo técnico mayor. Su formato en papel permite su fácil transporte, ya que es ligero y flexible.



Imagen 41: Gráfico realizado en una ilustración de libro mediante el sistema de punzonado (embossed).

Prototipado y fabricación rápida: Impresión en 3D

Por último, en el campo de la producción de planos táctiles es importante apuntar, también, hacia las posibilidades abiertas con las nuevas técnicas de Prototipado y Fabricación Rápida (Chua et al., 2003; Kamrani & Nasr, 2006). Los diferentes sistemas de prototipado rápido (estereolitografía, sinterización selectiva por láser, modelado por deposición de hilo fundido, etc.) permiten la realización de piezas tridimensionales a partir de modelos virtuales realizados mediante Diseño Asistido por Ordenador (DAO), el hecho que este conjunto de técnicas se les denomine “rápido” se debe a la inmediatez con la que se puede obtener un prototipo en relación a otras técnicas.

El principio de estos procesos se basa fundamentalmente en la adición y/o aporte de material (*Material Increase Manufacturing*) y entre otras ventajas permiten reducir el tiempo empleado entre el diseño y la obtención del modelo físico, pero también introduce una mayor flexibilidad, versatilidad y variedad de diseños. Por ejemplo con estas técnicas se pueden conseguir piezas o elementos en relieve complejos que las técnicas anteriores no permiten. Estas técnicas tienen múltiples aplicaciones en campos muy diversos: desde el clínico, hasta el industrial o entre profesionales libres como arquitectos o diseñadores de producto, hecho que implica un mayor desarrollo técnico que las otras técnicas mencionadas, a excepción del termoconformado que ya es un sistema maduro en la industria.

Para la generación de estas pieza mediante prototipado rápido el esfuerzo se centra en el modelado virtual, ya que las máquinas de impresión admiten normalmente una amplia variedad de formatos digitales. Una vez enviado a imprimir un modelo digital, sólo hay que esperar a que la máquina lo imprima, este proceso puede durar desde unas horas a varios día, en función de la capacidad de los recursos con los que se cuente y del volumen y masa de la pieza. Posteriormente, dependiendo de la técnica de prototipado escogida habrá que terminar la pieza con procesos secundarios que simplemente mejoran la calidad superficial o resistencia del modelo físico.

Ente estas técnicas destacamos la empleada en este estudio, la impresión en 3D que mediante un cabezal, similar al empleado en una impresora de tinta, deposita material aglutinante en sucesivas pasadas sobre una base de polvo fino, de modo que las diversas capas del material aglutinado van conformando el modelo físico al hacer que el polvo se compacte según va recibiendo gotas de adhesivo del cabezal. Algunas impresoras 3D permiten el empleo de aglutinantes de color con los que se consiguen piezas policromadas (Imagen 42). Su degradación al tacto es mejor que los anteriores sistemas, aunque su textura, sin tratamiento posteriores es de carácter rugosa, por

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

lo que precisa un tratamiento superficial posterior para mejorar la sensación al tacto de la superficie. Esta técnica en la actualidad todavía no se encuentra plenamente integrada como herramienta para la producción de modelos de evaluación, prototipos o, incluso, como producto final, en el ámbito del diseño de planos táctiles. Aunque existen algunos estudios que corroboran un uso cada vez más habitual, tanto el diseño de planos (Gual, Puyuelo, & Lloveras, 2012; Gual, Puyuelo, Lloveras, & Merino, 2012; Puyuelo Cazorla et al., 2011; Vořzenílek et al., 2009) como con sus posibilidades como maquetas táctiles (Celani & Milan, 2007), y algunas empresas han desarrollado puntos de información audiotáctiles empleando este sistema de producción entre otros procesos de manufactura (Landau, 2011).



Imagen 42: Detalle de Impresión en 3D policromada en plano táctil.

1.8. LITERATURA EN EL ÁMBITO DE LOS SÍMBOLOS Y PLANOS TÁCTILES

Desde una perspectiva histórica, los pioneros en la realización de estudios sobre símbolos táctiles fueron principalmente Nolan y Morris durante las décadas de los años 60 y 70 (Nolan & Morris, 1971), su propósito era mejorar el uso de los planos táctiles para personas ciegas. Su trabajo sirvió de base para el resto de estudios posteriores en el ámbito de los símbolos y planos táctiles.

Desde entonces han sido diversos los autores y estudios que han tratado este tema tan específico. Entre ellos destacan, entre otros, los de Gill and James sobre discriminación de símbolos

táctiles de carácter puntual (Gill & James, 1972), los trabajos de Taylor y Lederman sobre las texturas y su discriminación (Taylor, Lederman, & Gibson, 1973; Lederman & Kinch, 1979) y sobre la legibilidad y significación de determinados símbolos (Lambert & Lederman, 1989), los estudios de Berlà sobre discriminación de símbolos puntuales o lineales (Berla & Murr, 1975b; Berla & Murr, 1975a) o el de Trevelyan, que en el marco de evaluación de planos táctiles se examinaron también determinados símbolos de carácter puntual, lineal y texturas (Tevelyan, 1986).

En 1982 se publicó el manual de Schiff, *Tactual Perception: a sourcebook* (Schiff & Foulke, 1982), en el ámbito de la psicología y de las ciencias de la educación, en él intervino un grupo selecto de especialistas en el tema entre los que destacaban algunos investigadores de los ya nombrados, Berlà, James, Lederman o Gill; y otros como Nancy S. Amick o Joh M. Kennedy o Billie L. Bentzen centrados en los gráficos tangibles que posteriormente continuaron su trabajo en el campo de la percepción táctil y los gráficos tangibles (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Kennedy, 1993; Kennedy, 2003). En este manual los símbolos táctiles son abordados en sus respectivos capítulos por Lederman que trata la percepción de texturas (Lederman, 1982) y por James que en su capítulo sobre los planos de movilidad (James, 1982) aborda la cuestión de los símbolos táctiles centrándose en aquellos propuestos en uno de los acontecimientos con más impacto en este ámbito, la *International Conference on Mobility Maps* celebrada en Nottingham, Inglaterra, en 1972 (Armstrong, 1973; Edman, 1992), foro en el que se propuso un conjunto de símbolos cuya intención era servir de estándares en un contexto internacional pero que debido a la falta de materiales y sistemas de producción también estandarizados no terminó de implementarse. El diseño de planos táctiles evolucionaba de forma improvisada (James, 1982) y a partir de la experiencia personal de cada profesional implicado en el diseño (Lobben, 2005). No obstante, en 1986, algunos de esos símbolos propuestos en la conferencia fueron adoptados como estándares por organismos como *National Mapping Council of Australia* (ADON, 1986).

Ya entrando en la década de los 90 y finales de siglo XX, Renner realizó una catalogación de 15 símbolos táctiles puntuales, 10 lineales y 6 símbolos tipo área-textura que habían sido considerados en trabajos previos para acordar, según los resultados de estos estudios, un conjunto de símbolos fácilmente discriminables (Renner, 1993). Edman, por su parte, en 1992 publicó su reconocido manual en el que describe, analiza y recomienda cómo realizar gráficos tangibles y en el que se trata específicamente los símbolos táctiles (Edman, 1992). En la primera década del siglo XXI, por otro lado, aparecieron en escena contribuciones muy interesantes que mostraban un interés

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

constante por mejorar los planos táctiles. Se trata de trabajos que, desde la colaboración entre las disciplinas de la geografía-cartografía y psicología, abordaban problemáticas relativas al sentido del tacto y que trataban también el caso de los símbolos táctiles, su lectura y discriminabilidad.

Así, Simon Ungar, Sandra Jeohel, Don MacCullan o Jonhatan Rowell son los principales investigadores que abordan estudios centrados en la mejora de estos elementos táctiles y en los que la simbología táctil también tiene una importante presencia hasta bien entrada la primera década de este siglo (Jehoel et al., 2005; Jehoel et al., 2005; Jehoel et al., 2006; Jehoel, McCallum, Rowell, & Ungar, 2006; Jehoel et al., 2009; Rowell & Ungar, 2003; Rowell & Ungar, 2003b; Rowell & Ungar, 2003a; Rowell, 2005; McCallum & Ungar, 2003; McCallum et al., 2005; McCallum et al., 2006; Ungar, Jehoel, McCallum, & Rowell, 2005).

En los últimos años el interés por este tema no ha decrecido y la simbología táctil y la estandarización de ésta continúa dando cabida a más estudios. Wright, Harris y Sticken recientemente realizaron una selección de los estudios históricos más significativos sobre planos táctiles para la orientación y la movilidad, entre ellos algunos con especial interés por los símbolos táctiles, a través de métodos de evaluación estadística (Wright, Haris, & Sticken, 2010). Otro autor, Lobben, analizó una serie de símbolos táctiles (Imagen 43) inspirándose en los propuestos en la *International Conference on Mobility Maps* y determinó en base a una metodología cualitativa que los ítems más importantes de un plano táctil urbano son por este orden: las calles, edificios, escaleras, entradas, zonas de agua, pasos de peatones y aceras (Lobben & Lawrence, 2011); Lawrence y Lobben, además presentaron en 2011 su estudio y resultados sobre el diseño y la legibilidad de símbolos táctiles para la comprensión de las características espaciales en mapas táctiles temáticos (Lawrence & Lobben, 2011). Desde Taiwan, Yung-Hsiang Tu analizó una serie de símbolos comparando su uso y advirtió, entre otros aspectos, que los símbolos sólidos, es decir, con relleno interior presentaban mejores ratios de aciertos que sus pares representados únicamente mediante líneas en su contorno, además en su estudio se observó la importancia de la selección adecuada entres símbolos, así, por ejemplo, el símbolo representado mediante una circunferencia tendió a confundirse con el símbolo en forma de rombo, y los símbolos y texturas que se presentaban mediante puntos (tipo código Braille) obtuvieron ratios bajos de acierto, debido al pequeño estímulo táctil proporcionado por estos elementos sobre la yema de los dedos (Tu et al., 2011).

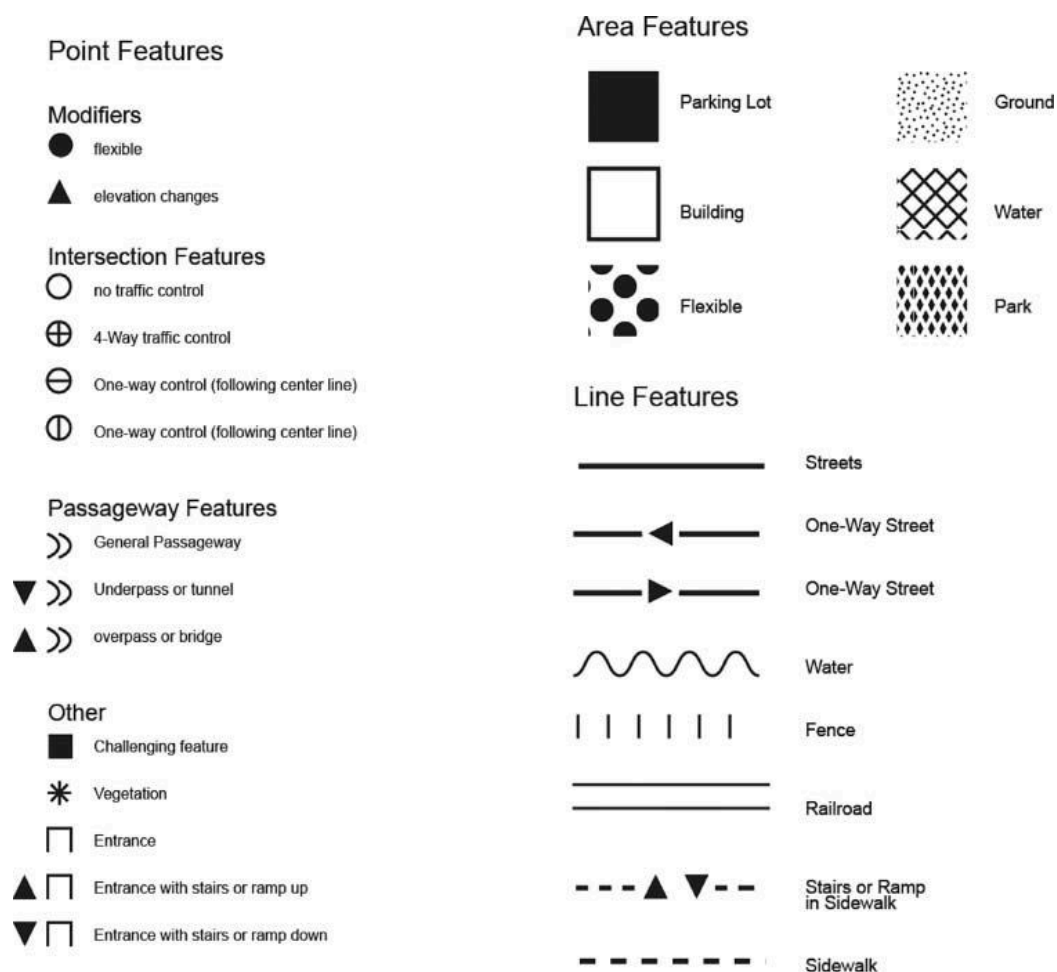


Imagen 43: Símbolos táctiles propuestos por Lobben inspirados en la International Conference on Mobility Maps (Fuente: (Lobben, 2011)).

Por el lado de la industria, Steve Landau, presidente y director del área de investigación de la empresa *Touch Graphics Inc.*, por su parte, compagina actualmente sus labores como empresario con la investigación. En ésta última faceta, el tema de los símbolos táctiles para su uso en planos en relieve o maquetas siempre está presente (Landau, 1999; Landau, 2011), ya en 2006 presentó un trabajo en equipo dentro del proyecto *The Smith-Kettlewell Eye Research Institute's Tactile Maps Automated Production (TMAP)*, en el que se combinaban diversas tecnologías para facilitar la movilidad de personas con discapacidad visual en el entorno geográfico y en el que uno de los problemas se centraba en la selección de símbolos táctiles discriminables pero también fácilmente reproducibles (Miele et al., 2006).

Todo esto sucedía, como se observa, en el entorno anglosajón, pero en otros enclaves geográficos, a pesar de contar con menos medios, han desarrollado igualmente un interés espe-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

cial hacia el estudio de los gráficos tangibles y los planos táctiles incluyendo, en muchos casos, las cuestiones relativas a los símbolos. Espinosa y Ochaíta, a finales de la década de los 90, ya publicaron sus resultados en la prestigiosa revista *Journal of Visual Impairment & Blindness*, entre los que se destacaba la mejora del conocimiento espacial de los participantes (30 invidentes) que emplearon planos táctiles, respecto a los que no los emplearon o sólo obtuvieron indicaciones verbales para realizar una ruta compleja en Madrid (Espinosa & Ochaíta, 1998).

La autora chilena Correa Silva, desde la Universitat de Barcelona, desarrolló su tesis doctoral en 2008 sobre el tema de las imágenes táctiles (Correa Silva, 2008) y, entre otras cosas, junto con Coll publicaron en 2011 un artículo sobre el estado de la cuestión en Latinoamérica, en los que algunos centros chilenos llevan trabajando desde los años 90 (Correa & Coll, 2011). En la Universidad del Valle en Cali, Colombia, René Serrano, Iderley Medina, Carlos González y Ciro Jaramillo-Molina llevaron a cabo un estudio centrado en su campus universitario y en sus estudiantes discapacitados visuales con mapas táctiles (Serrano, Medina, González, & Jaramillo-Molina, 2009). En Brasil existe otro foco de investigación interesante y son diversos los autores y centros que realizan estudios sobre este tema, Vasconcellos interpretó las propiedades visuales de los planos cartográficos propuestos por Jaques Bertin (Bertin, 1981) en el ámbito táctil (Almeida & Loch, 2008), y otros nombres de este país continúan trabajando, hoy en día, en el marco de los mapas táctiles (de Andrade & de Paula Santil, 2010; Nogueira, 2009; Oliveira, Santos Júnior, & Lahm, 2010), entre los que destacan por su especial relación con este estudio los realizados por Celani y Milán (Celani & Milan, 2007; Milan & Celani, 2008), ya que en estos estudios el método seleccionado para la producción de los planos táctiles es el sistema de Impresión en 3D.

En España la Comisión Braille Española trabaja desde hace unos años en normalizar el uso de este código de lecto-escritura, pero también en tratar de estandarizar los símbolos empleados en planos táctiles junto con la agencia AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación) (Comisión Braille Española, 2012; Comisión Braille Española, 2005; ONCE, 2006). Pero es sin duda la revista "Integración. Revista sobre ceguera y deficiencia visual", editada desde la ONCE, una de las fuentes de información más amplias e importantes. Esta revista lleva funcionando desde el año 1988 y en ella se publican artículos relativos a la materia de las personas con discapacidad visual, y se abordan aspectos relativos a la percepción táctil y a los instrumentos para el aprendizaje como los mapas, maquetas o planos táctiles (Blanco Zárate, 1998; Consuegra Cano, 1998). Además, desde la Revista de traducción sobre temas de discapacidad visual "Entre dos Mundos", se han publicado, traducidos al castellano, algunos de los artículos más importantes

en la materia de planos táctiles, como algunos interesantes trabajos de Rowell y Ungar (Rowell & Ungar, 2004) .

En este sentido, parte de la investigación llevada a cabo estos últimos años sobre el tema de planos táctiles y orientación se centra precisamente en el uso de las nuevas tecnologías, fundamentalmente en aprovechar las posibilidades del denominado GIS (*Geographic Information System*), un sistema de información geoespacial que funciona con principios colaborativos entre diferentes instituciones y usuarios particulares, y que ha dado pie a diversos artículos de su aplicación en planos táctiles pero sobre todo en la mejora de la orientación espacial en general (Bradley & Dunlop, 2003, 2005; Clark & Clark, 1994; Jacobson & Kitchin, 1997; Wang, Li, & Li, 2012). Junto con el GIS se emplean otras técnicas como el habla con voz sintetizada y software específico (Jacobson & Kitchin, 1997; Parente & Bishop, 2003; Perkins, 2002; Zheshen, Nan, & Baoxin, 2012). El aprovechamiento de las posibilidades que brindan las nuevas tecnologías es muy extenso, y desde la plataforma de mapas interactivos *Google maps* en Internet y el sistema de geoposicionamiento geográfico GPS a través del teléfono móvil, se abren nuevas posibilidades para mejorar la orientación y movilidad de personas con discapacidad visual (Nicholson, Kulyukin, & Marston, 2009; Sánchez & Sáenz, 2008).

Por regla general los estudios de planos táctiles y orientación, como es este estudio, también se suelen relacionar, por un lado, con el concepto de *wayfinding* (Bradley & Dunlop, 2005; García Moreno, 2011; Golledge, 1992; Liu et al., 2008; Robertson & Dunne, 1998; Zimring & Tessler, 1983), como la ruta aprendida necesaria para la orientación de las personas y, por otro, con el concepto de mapa cognitivo o representación mental del entorno (Jacobson, 1998; Long, 2002; Robertson & Dunne, 1998; Sanabria, 2010; Ungar, 2000). Los mapas táctiles, por lo tanto, son facilitadores del conocimiento espacial y en una dimensión más concreta, son recursos para el aprendizaje de un recorrido concreto del medio urbano (Caddeo, Fornara, Nenci, & Piroddi, 2006), como se demostró en las primeras experiencias piloto de este mismo trabajo en la que los usuarios con discapacidad visual se vieron beneficiados por el uso de estos dispositivos para aprender y realizar una ruta concreta en el marco del distrito de *Ciutat Vella* en Barcelona (Puyuelo Cazorla et al., 2011; Gual, Puyuelo, & Lloveras, 2011b; Gual et al., 2012).

En un sentido más concreto existen diversos estudios que se relacionan directamente con éste, en tanto abordan la misma problemática, la evaluación de símbolos táctiles para su uso en planos en relieve por un lado, y la profundización en el acceso al patrimonio o bienes culturales a

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

partir de los dispositivos táctiles por otro. Pero en relación a la primera parte, la simbología volumétrica aplicada a planos táctiles no ha tenido un tratamiento extenso en la literatura, aunque merece la pena destacar el trabajo de Don McCallum, Simon Ungar and Sandra Jehoel, en el que se aborda el análisis de diferentes símbolos entre ellos algunos con un cierto relieve y complejidad volumétrica en 2,5 D. Este estudio sirvió de punto de partida al trabajo que aquí se expone, en el se analizaron una serie de 41 símbolos táctiles que incluían símbolos tipo flecha que indicaba dirección o símbolos que trataban de representar el ítem escalera. Los resultados obtenidos en relación a la elevación volumétrica fueron ambiguos (McCallum, Ungar & Jehoel, 2006)(Imagen 44). Cabe destacar además el símbolo de carácter lineal denominado *saw tooth line* (línea con perfil de diente de sierra) que dependiendo de la dirección de exploración con los dedos produce una sensación diferente al tacto, permitiendo de esta manera su uso indicativo no sólo de dirección, sino también de sentido. En el estudio anteriormente citado, esta dirección fue claramente detectada, aunque no hubo una interpretación consistente del sentido para todos los participantes. Sin embargo, los usuarios podrían ser entrenados o instruidos para interpretar la información direccional de una manera particular. En cualquier caso este símbolo representa un caso de variación de altura en el perfil, hecho que ya implica cierta complejidad volumétrica.

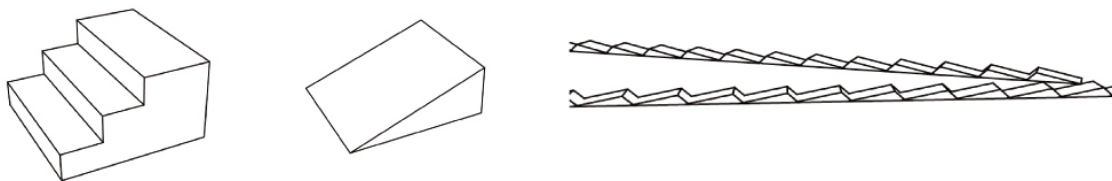


Imagen 44: Algunos de los símbolos táctiles analizados por McCallum y su equipo con cierta complejidad volumétrica.

1.9. ELEMENTOS CONCEPTUALES DE DISEÑO: EL VOLUMEN

Ahora bien, la representación de los símbolos, en los planos táctiles convencionales, como se ha podido observar sigue la pauta marcada por el uso de los tres elementos conceptuales de diseño gráfico (punto, línea y plano-textura), es decir, se enmarcan en una naturaleza fundamentalmente bidimensional, en la que una ligera elevación de estos elementos los expone al sentido del tacto por contraste de altura. Sin embargo, también es conocido que cuando se supera el formato bidimensional, es decir, cuando los objetos se representan en relieve o en las tres dimensiones tanto la luz como el volumen juegan un papel fundamental. Esta primera modela los cuerpos en claro oscuro y permite la percepción visual de los volúmenes en el espacio. De esta manera, el

volumen es comúnmente conocido como el cuarto elemento conceptual de diseño (Ching, 2005) y desde disciplinas como la arquitectura (Wong, 1986) o el diseño de producto (Navarro Lizandra, 2010; Gual Ortí, 2011) su empleo resulta muy común. Éste además, en la realidad física, es tangible al tacto. En este sentido, este estudio plantea incorporar este cuarto grupo de elementos conceptuales, los elementos volumétricos, al ámbito de los planos táctiles.

La teoría de Wong sobre diseño bi y tridimensional distingue entre cuatro tipo de elementos de diseño: los elementos conceptuales, los elementos visuales, los elementos de relación y los elementos prácticos. En este estudio interesa particularmente los cuatro elementos conceptuales de diseño: Punto, Línea, Plano y Volumen (Imagen 45).

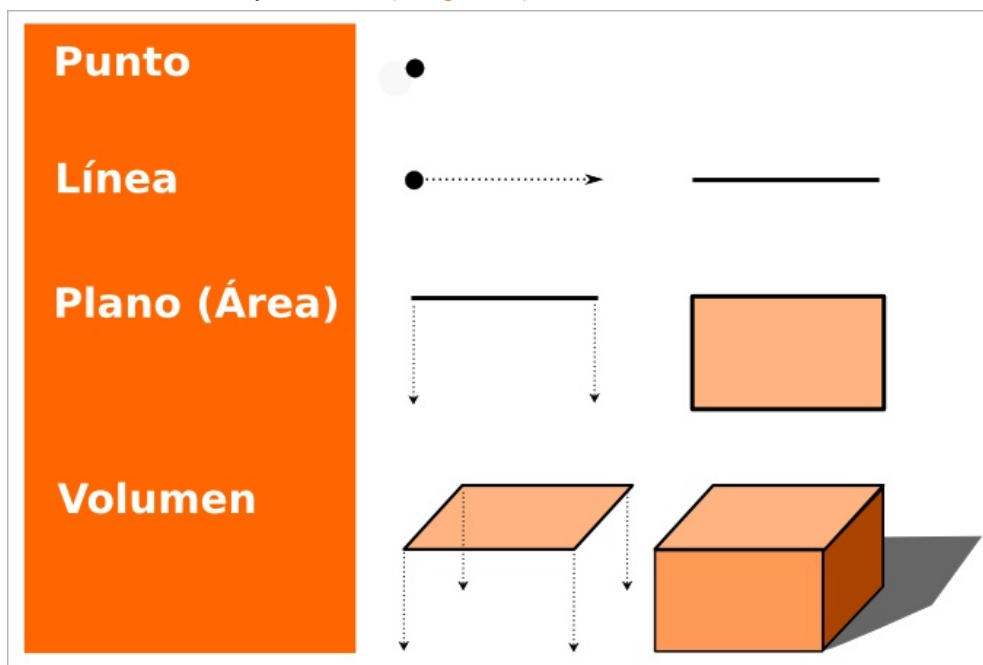


Imagen 45: Imagen ilustrativa con los cuatro elementos conceptuales de diseño.

En este sentido, los elementos conceptuales de diseño son “ideas” “conceptos abstractos”, son, por así decirlo, “invisibles”. De ahí la necesidad de los elementos (propiedades) visuales: forma, medida, color y textura. Estos últimos elementos posibilitan que los elementos conceptuales de diseño sean visibles. Para entender esto basta con un ejemplo sencillo, una línea conceptual puede tener multitud de formas, dimensiones, proporciones e incluso en ella se puede expresar el color y la textura (Imagen 46).

Por otro lado, los elementos de relación se refieren a la interrelación que se produce entre estos elementos y el espacio, la percepción de la composición y el marco de referencia (límites exte-

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

riores de un diseño). Los elementos de relación son la dirección, la posición, el espacio y la gravedad (Imagen 47). Conviene aclarar que el espacio, en el ámbito de las dos dimensiones, se refiere a los mecanismos ilusorios que generan profundidad como, por ejemplo, la representación en perspectiva, mientras que la gravedad es un elemento dependiente de la psicología, más que de los aspectos visuales, mediante este último elemento se explican conceptos como el equilibrio o el peso visual dentro de una composición.

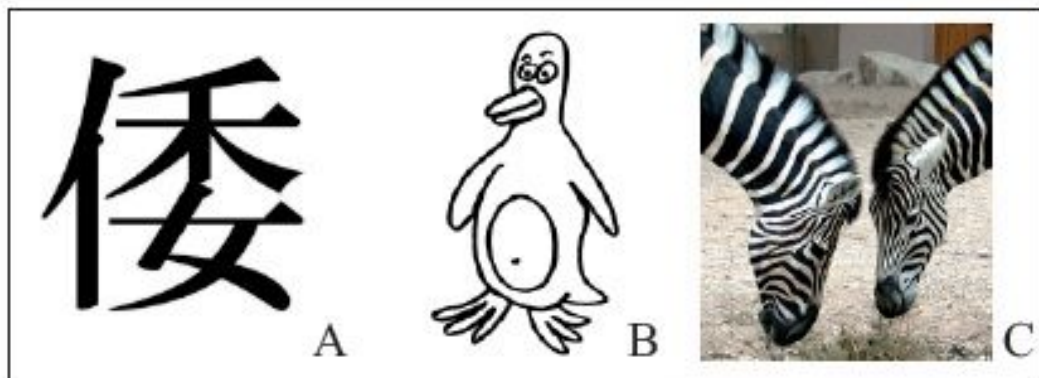


Imagen 46: Imagen de diferentes líneas conceptuales que como elementos visuales de diseño se visibilizan de diferentes maneras (Autor: J. L. Navarro).

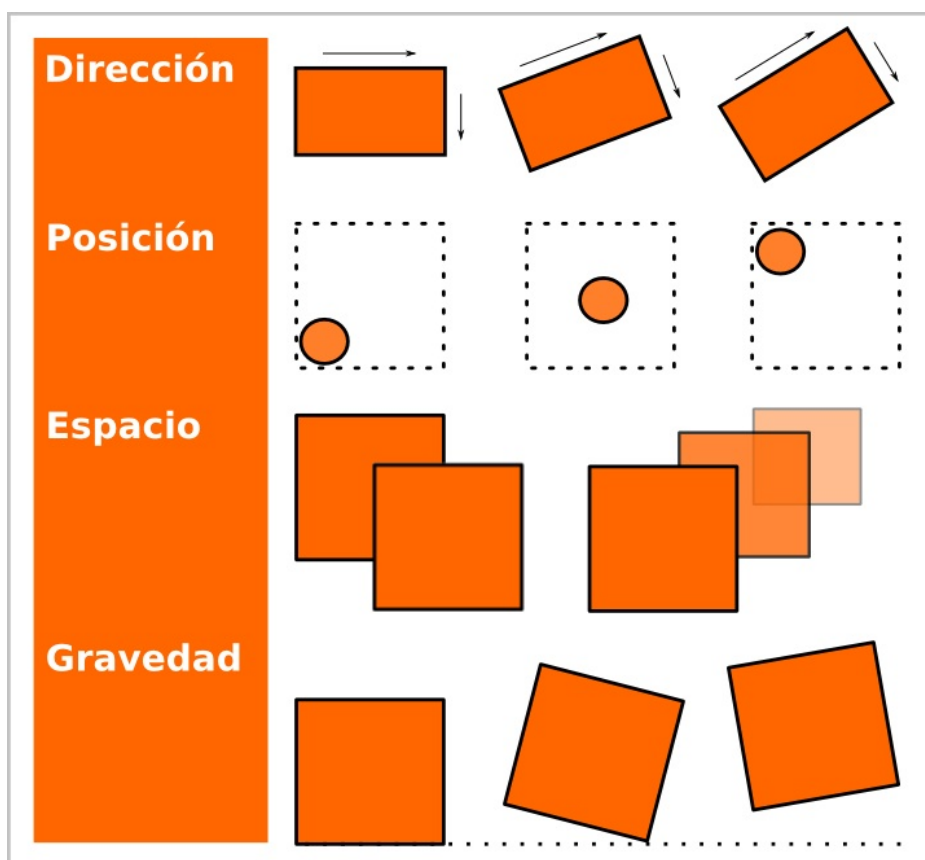


Imagen 47: Imagen de los cuatro elementos de relación. De arriba a abajo: dirección, posición, espacio y gravedad.

Por último, Wong habla de los elementos prácticos, representación, significado y función, que son precisamente los que dotan de contenido al mensaje visual de las composiciones gráficas y cuyo estudio se conduce fundamentalmente desde disciplinas como la semiología o la semiótica, ésta se ocupa del estudio de los procesos de comunicación mediante los cuales algo se utiliza como representación de otra cosa. Estudios que por otro lado han dado conocidas contribuciones como las de Saussure, Pierce o Eco.

En este sentido, desde el ámbito de la cartografía Jacques Bertin en los años 60 estudió este aspecto, la relación del mundo gráfico con la comunicación (Bertin, 1983). Y, hoy en día su trabajo es una constante referencia para los investigadores de los gráficos tangibles sobre todo de los mapas cartográficos (Consuegra Cano, 1998; Correa Silva, 2008; Loch, 2008; McCallum et al., 2005; Mozas Martínez, Montes Tubio, & Ariza López, 2002; Nogueira, 2009).

Entre otros aspectos, Bertin define seis variables visuales, a las que denomina variables retinianas: forma, tamaño, orientación, color, valor y grano. Donde el valor es una propiedad del color

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

y el grano de la textura. En la actualidad desde la disciplina de la topografía y la cartografía se distinguen hasta 10 ítems para el diseño de un mapa visual (Departamento de Ingeniería Cartográfica y Topografía, UPM), dónde las marcas o manchas son lo que Wong denominaba elementos conceptuales de diseño, con la salvedad de que la teoría cartográfica, cuando trata el volumen lo suele hacer desde su vertiente virtual e ilusoria, es decir, en 2D y no tanto física en las tres dimensiones del espacio real. Las variables para diseñar un mapa visual que, por otro lado, no difieren en esencia de las que define Wong para cualquier diseño bidimensional son:

1. Posición (x,y) de las marcas.
2. Forma de las marcas.
3. Tamaño de las marcas.
4. Orientación de las marcas.
5. Textura (Grano) del relleno de las marcas.
6. Estructura del relleno de las marcas.
7. Tonos de sus Colores.
8. Claridad de sus Colores.
9. Saturación de sus Colores.
10. Foco de las marcas.

En aquello que atañe a su interpretación desde aspectos visuales la autora brasileña Vasconcellos, ha realizado un esfuerzo por tratar de reproducir la teoría de la semiología visual de Bertin en variables táctiles (Vasconcellos, 1993; Correa & Coll, 2011)(Imagen 48).

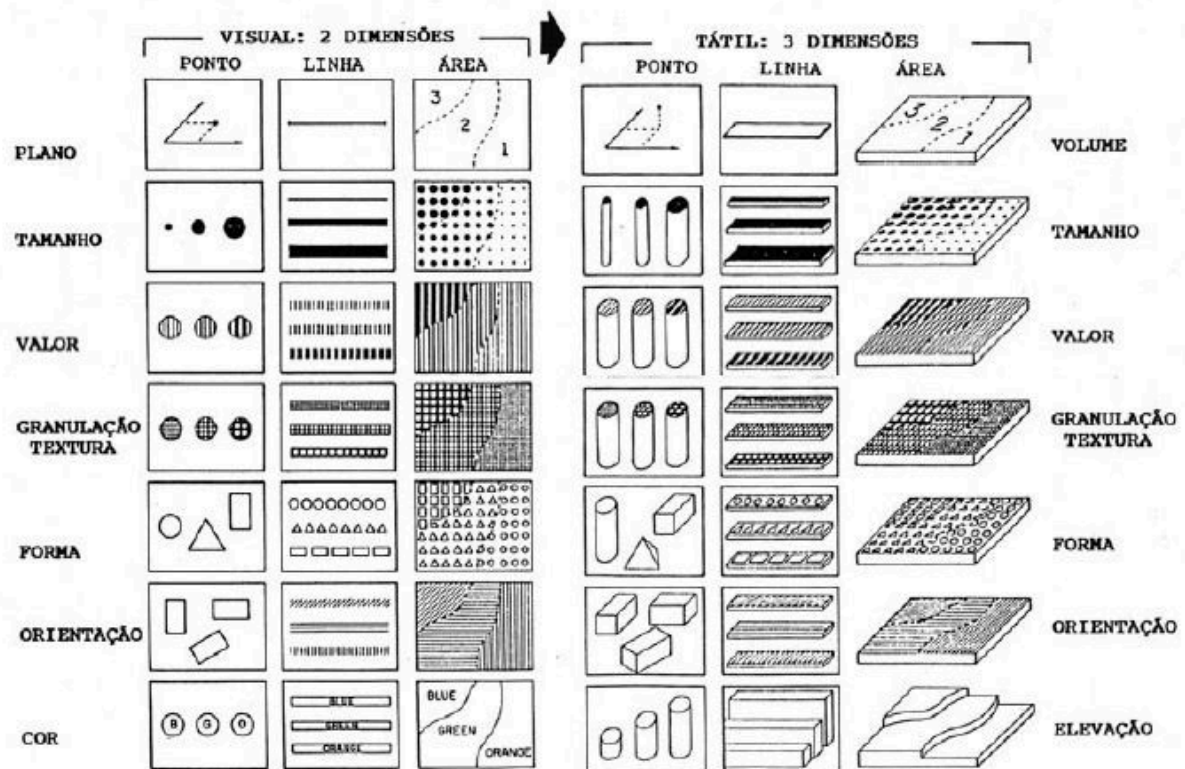


Imagen 48: Interpretación de las variables visuales de Bertin a los aspectos táctiles (Fuente: (Correa Silva, 2008)).

En cualquier caso no conviene olvidar el contexto comunicativo comúnmente aceptado de todos estos elementos. Entendiendo el proceso de comunicación como la transferencia de mensajes desde un emisor (diseñador) a un receptor (usuario), dentro de un medio (los símbolos gráficos y táctiles) en un contexto determinado. O como describe Umberto Eco en otras palabras “el paso de una Señal, desde una Fuente, a través de un Trasmisor, a lo largo de un Canal, hasta un Destinatario” (Eco, 1972) (Gráfico 1).

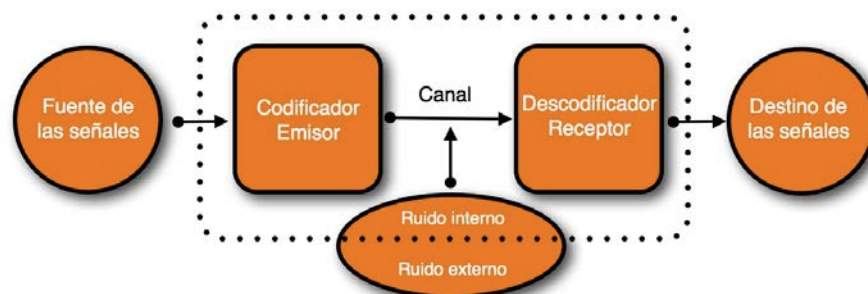


Gráfico 1: Esquema del proceso de comunicación.

1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

En este sentido conviene advertir por último una serie de aspectos relativos a este proceso de comunicación que se produce entre un emisor y el receptor. Así, semánticamente, se debe diferenciar entre el significante, en el caso de los planos táctiles y sus símbolos las variables tangibles como la forma, el peso o la textura de los elementos en relieve, y el significado, es decir, el concepto o idea que designan éstos y que el usuario debe comprender para que la comunicación sea efectiva. La relación entre ambos, en términos lingüísticos, es arbitraria, fruto de una convención. En el caso de un plano táctil, al no existir un código normalizado por el uso o formalizado en unas normas, la relación entre significante y significado suele expresarse mediante una leyenda que asocia ambos conceptos. Así, el proceso de comunicación precisa de un mecanismo de inferencia y de interpretación, en este caso sobre una serie de signos.

Por otro lado, la disciplina de la geografía clasifica los signos desde diferentes criterios entre el que se encuentra según las relaciones que se establecen entre objeto y el propio signo: ícono, índice y símbolo. Un ícono es un signo que se refiere a su objeto en función de alguna similitud con éste; un índice se refiere a su objeto en función de estar necesariamente ligado a él, ya sea por una relación de contigüidad o una relación existencial; un símbolo se refiere a su objeto en virtud de alguna convención establecida. Además los signos pueden clasificarse según el sentido sobre el que se perciben: auditivo, táctil, olfativo, o visual (Caivano, 2005), o según su aspecto: símbolos pictóricos (figurativos)(Imagen 49), geométricos o abstractos (Imagen 50); y por último, los literales compuestos por letras y números (Imagen 51). En este estudio se proponen símbolos volumétricos con con carácter abstracto y sin significado propio (Departamento de Ingeniería Cartográfica y Topografía, UPM).

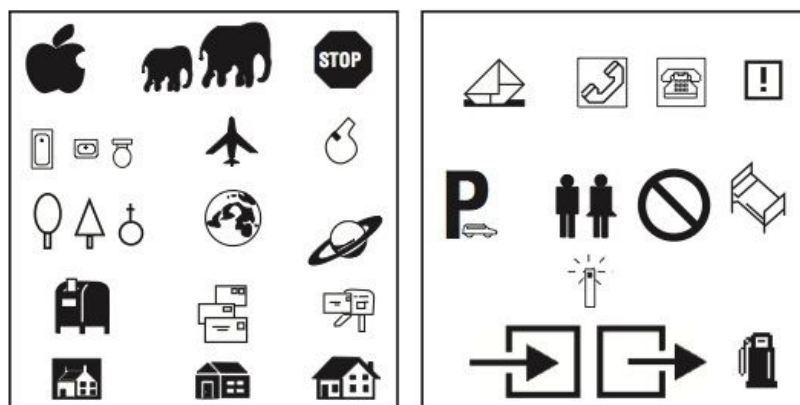


Imagen 49: Imagen de símbolos pictóricos (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)).

En otro orden de cosas algunas categorías de símbolos se codifican desde convenciones temáticas, como los símbolos gráficos matemáticos, los que se emplean en el ámbito de la ingeniería, por ejemplo, símbolos gráficos para la representación de instalaciones eléctricas o símbolos para la edificación y el urbanismo, entre otros. En este sentido, algunos de estos símbolos se traducen directamente de su aspecto visual al táctil, hecho que algunos autores afirman que no siempre tienen un resultado adecuado (Jehoel et al., 2006). En el trabajo que aquí se expone también se enmarca el análisis de este tipo de símbolos para confirmar hasta qué punto es adecuada esta estrategia en el uso de símbolos para planos táctiles.

Por último, no conviene olvidar el denominado ruido (Lehto & Buck, 2008) o las interferencias visuales (contaminación visual) en el caso del análisis de los mensajes visuales (de la Torre y Rizo, 1992). Éste es un aspecto que condiciona e interfiere el proceso comunicativo y que debe evitarse o reducirlo al máximo para optimizar el proceso de comunicación. En el caso de los gráficos táctiles este tema también ha sido objeto de estudio. Berlà y Mur en 1975 ya realizaron estudios en los que se mostraba cómo la superposición de símbolos, puntuales y lineales sobre texturas afectaba a la localización de los símbolos en relieve en el proceso de exploración táctil (Tevelyan, 1986). En este sentido, las recomendaciones de diseño sugieren separar los símbolos entre ellos para que no se produzca esta distorsión táctil relacionada con el ruido de fondo, en este caso el de una textura, y así percibir con claridad el símbolos superpuesto sobre ella (Imagen 52)(Véase Requerimientos de diseño en los planos táctiles en página 63).

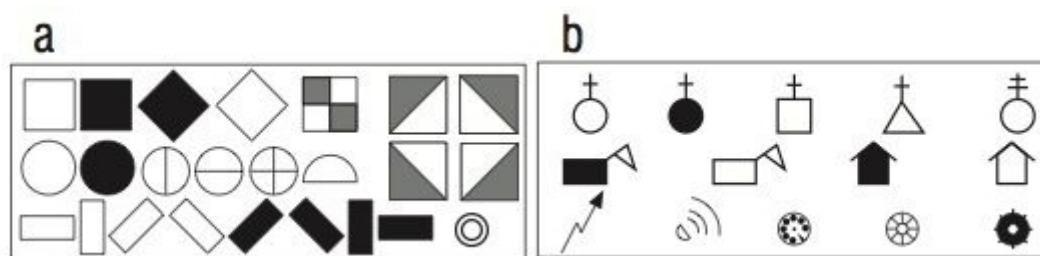


Imagen 50: Símbolos visuales de aspecto geométrico (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)).



Imagen 51: Símbolos literales (Fuente: (Departamento de Ingeniería Cartográfica, UPM)).

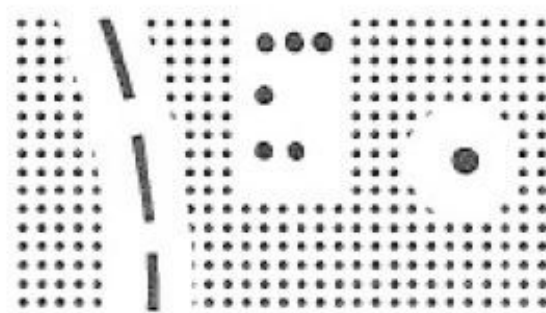


Imagen 52: Recurso de dejar espacio libre para evitar el ruido táctil que puedan producir la textura al solaparse con otros elementos del plano (Fuente: ADON (Goodrick, 1987)).

1.10. LA PROBLEMÁTICA DE LOS PLANOS Y SU SIMBOLOGÍA TÁCTIL

Las personas ciegas o con deficiencia visual emplean, entre otras herramientas, dispositivos táctiles para la orientación y la comprensión de diversos fenómenos. Para ellos, estos recursos suponen una posibilidad de contacto con algunos aspectos de la vida que normalmente se realizan, en mayor medida, gracias al sentido de la vista.

Además, las personas ciegas y deficientes visuales son, sin duda, un colectivo desfavorecido en cuanto presentan ciertos handicaps, inherentes a su deficiencia, que dificultan su disfrute del Patrimonio Cultural. Los entornos del Patrimonio Cultural pueden entenderse como un ámbito para favorecer la integración de todos los miembros de la sociedad bajo un denominador común: el acceso a la cultura (Consuegra Cano, 1997).

En este sentido, uno de los problemas reconocidos en la vivencia cotidiana de las personas con discapacidad visual se centra en la orientación espacial en entornos físicos (INE, 2008; Weih et al., 2002) y por ende en los recorridos durante las visitas a los entornos arquitectónicos culturales. Aunque, no se puede obviar que la experiencia que proporciona cualquier acercamiento al Patrimonio Cultural parte, no sólo de la comprensión del lugar desde el punto de vista espacial,

sino de otras implicaciones con un marcado carácter didáctico y estrechamente relacionados con los contenidos que éste expresa (Puyuelo Cazorla et al., 2010; VV. AA., 1991). De tal modo que un espacio de esta índole se caracteriza por exponer contenidos temáticos concretos, por ejemplo en sus exposiciones y centros de interpretación, ofreciendo al visitante recursos para la comprensión e interpretación de los citados contenidos. Más allá de estos contenidos y recursos los gestores de estos espacios deben abordar la visita autónoma de sus usuarios, y para ello se hace preciso mejorar la orientación y movilidad dentro de ellos.

Así, uno de los recursos más empleados y útiles para facilitar la orientación espacial dentro del Patrimonio Cultural construido y, en parte, su comprensión, es el uso de mapas y planos de planta en papel que facilitan, cuando menos, la situación al visitante dentro de un contexto concreto. Aunque, hay que señalar que ofrecer estos recursos adaptados a las personas con ceguera y/o deficiencia visual en los entornos patrimoniales, lamentablemente, no es una práctica del todo común. De tal modo, que resulta incluso extraño encontrar las correspondientes versiones de estos planos en su versión en relieve para que sean tangibles al sentido del tacto y más aún su versión inclusiva en la que todos, videntes y no, puedan aprovecharse por igual de planos que combinen gráficos y relieve al mismo tiempo. En cualquier caso, estos recursos táctiles existen y se encuentran, en casos puntuales, al alcance de este tipo de usuarios durante las visitas a determinados entornos patrimoniales o relacionados con aspectos culturales (Imagen 53).

En todo caso, el usuario ciego es quien debe explorar con sus manos estos planos y reconocer, entre otros aspectos, los elementos que en ellos se representa entre los que se encuentran los símbolos táctiles. Éstos normalmente expresan su correspondencia de contenidos en una leyenda anexa al plano (Imagen 54).

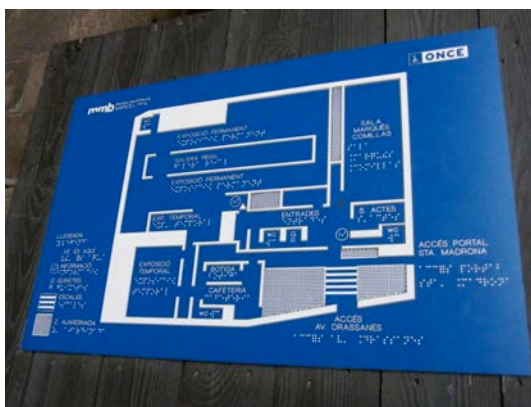


Imagen 53: Plano táctil del Museu Marítim (Barcelona).

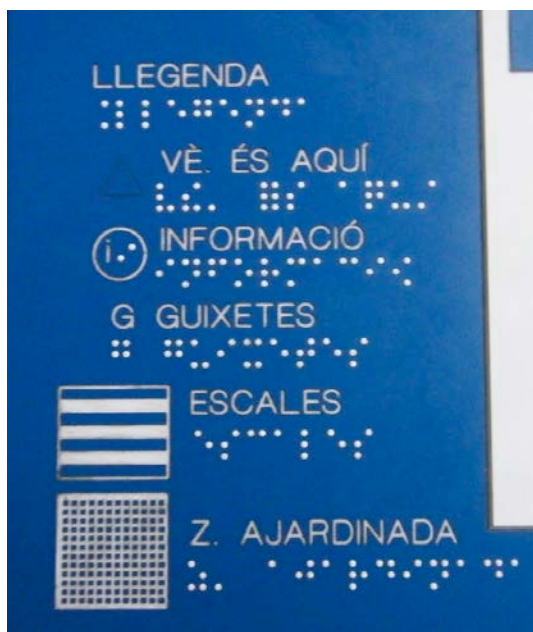


Imagen 54: Detalle de leyenda con símbolos táctiles del plano en relieve del Museu Marítim (Barcelona).

El acercamiento al gráfico tangible resulta en muchas ocasiones frustrante y su comprensión estéril y, por ende, la posibilidad de orientación y de comprensión proporcionada por estos dispositivos se manifiesta con dificultad, ya que diseñar para el sentido del tacto merece un tratamiento especial. Ante una situación así, conviene mejorar la usabilidad de estos dispositivos, invirtiendo tiempo en investigar y experimentar nuevas alternativas que favorezcan el uso eficiente de éstos en lo que a los aspectos táctiles se refiere.

El diseño de estos “planos comunicativos” de carácter táctil, cuando se desarrollan en relieve, bajo cualquier técnica o proceso productivo, se suele realizar del siguiente modo:

- En primer lugar, mediante procesos de fabricación con ciertas limitaciones para representar relieves pronunciados y geometrías complejas, como es el caso del sistema de microencapsulado y del termoconformado (Rowell & Ungar, 2003b). Este hecho se traduce en general en que los gráficos tangibles expresan relieves planos (2D) o a lo sumo con cierta variación en altura (2,5D) (McCallum et al., 2006) y carecen de la posibilidad de representar contrastes de altura agudos que puedan también percibirse con el tacto (Véase Producción de planos táctiles en página 76). Siendo el contraste táctil el principal principio que debe seguir el diseño de un plano según voces autorizadas (Nolan & Morris, 1971).

- En segundo lugar, es común el uso de elementos de diseño basados en el concepto bidimensional, es decir, en el ámbito pictórico y gráfico para diseñar este tipo de dispositivos táctiles. Así, la literatura expresa este hecho nombrando regularmente los tres “ingredientes” elementales para la configuración de una entidad gráfico-táctil: puntos, líneas y planos (superficies-texturas) (Amick et al., 2002; Correa Silva, 2008; Edman, 1992; Blasch et al., 1997). Obviando, a nuestro entender, la existencia de un cuarto grupo de elementos de diseño, los volumétricos, muy empleados en disciplinas como la arquitectura o el diseño de productos (Ching, 2005; Wong, 1986). Por lo tanto, introducir estos elementos entre los ya existentes en el ámbito táctil representa un reto para este estudio.
- En tercer lugar, algunos elementos de los planos táctiles como ciertos símbolos, se generan a partir de principios que responden a una naturaleza visual que tienen su génesis en una convención social que los videntes comprenden por aprendizaje o por asimilación de una forma normalmente sintetizada de la realidad visual (Schiff, 1982), como por ejemplo sucede en las flechas que indican dirección o en el extendido símbolo en forma de campana que indica “alarma” que se sitúa en las botoneras de los ascensores (Imagen 55), o en el propio símbolo con el que se suele representar a los ascensores en planos de edificación y orientación (Imagen 56). Es decir, estos productos en relieve se realizan a partir de una traducción directa de los atributos visuales a los táctiles, y en ocasiones este proceso de traducción no es el más conveniente (Jehoel et al., 2006). Indagar en la naturaleza táctil más adecuada para generar este tipo de elementos puede ser un camino que posibilite conocimiento para generar planos y símbolos táctiles.



Imagen 55: Imagen de símbolo táctil indicador de alarma sobre botón de ascensor, como elemento traducido directamente de su aspecto visual al relieve. Su forma puede confundirse al tacto con el botón en relieve "0".



Imagen 56: Detalle de símbolo en relieve que representa un Ascensor en plano táctil. Su composición gráfica corresponde a una convención visual. En tamaños pequeños este símbolo puede ser excesivamente complejo al tacto.

Por otra parte, es palpable el escaso interés de la industria en estos productos debido, entre otros aspectos, a que no son productos de uso masivo ni de grandes series, más bien abarcan un mercado minoritario que reporta pocos beneficios comerciales. Así, se trata de productos con una clara definición social y que se desarrollan en series cortas o únicas, normalmente desde organismos o fundaciones privadas dedicadas a la mejora de la calidad de vida e integración de las personas con discapacidad. Hecho que sirve de motivación para que desde los estamentos públicos, entre los que se encuentran las universidades, exista un interés por investigar esta ámbito con el fin de mejorarlo.

En el caso de la simbología empleada en estos planos confluyen los tres problemas planeados anteriormente. De esta manera, los símbolos táctiles empleados en la representación de dispositivos en relieve para la orientación y comprensión del patrimonio cultural no responden por completo a las necesidades del colectivo de personas con ceguera, ya que este proceso de traducción “de lo visual a lo táctil” resulta, cuando menos, un procedimiento cuya naturaleza no le es del todo propia al objeto pensado para ser comprendido a través de la exploración táctil. Este hecho hace que la interactividad entre el producto táctil y el usuario con ceguera se desarrolle de una manera sesgada y que la simbología empleada no sea siempre fácil de usar para el visitante ciego.

Por último, parece importante comentar la importancia que tiene en estos dispositivos la asistencia verbal combinada con la exploración táctil (Consuegra Cano, 2002), siendo actualmente necesaria para conseguir el objetivo de una total comprensión del plano táctil. De esta manera se puede afirmar que estos productos carecen de un uso autónomo en el sentido estricto de la palabra. Conviene indagar, por lo tanto, en el reto de realizar este tipo de dispositivos lo más usables posible para los usuarios con discapacidad visual. Este estudio pretende dar un pequeño paso en pro de conseguir ese reto: el uso autónomo de los planos en relieve, empezando por el ajuste de la simbología, de tal manera que ésta sea rápida y fácil de detectar y comprender, con los mínimos errores posibles.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Una vez estudiado y expuesto el estado actual del arte y de la técnica, desde este trabajo se plantean una serie de preguntas de investigación, las cuales dan pie a establecer unas hipótesis de trabajo y a plantear una serie de objetivos para este estudio.

2.1. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Las preguntas de investigación planteadas son las siguientes:

- **Pregunta 1:** ¿Se puede afirmar que el uso de planos táctiles es un factor positivo para mejorar la orientación y la comprensión de espacios del patrimonio construido en personas con discapacidad visual?
- **Pregunta 2:** ¿Es posible extender el rango de símbolos fácilmente discriminables al tacto mediante el empleo de símbolos con carácter volumétrico (3D)?
- **Pregunta 3:** ¿Pueden los símbolos en 3D mejorar el uso de los planos táctiles?
- **Pregunta 4:** En la selección de los símbolos táctiles para el uso en planos en relieve, ¿Es el factor “traducción directa de los aspectos visuales a los táctiles” un ítem determinante?

Por último, cabe comentar que, aprovechando la variedad de la muestra en cuanto a perfiles de usuarios participantes en cualquier estudio de este tipo (personas con deficiencia visual, personas invidentes y personas videntes con los ojos tapados; expertos en lectura de dispositivos táctiles, inexpertos, etc.), se plantea una cuestión secundaria relativa a conocer si existen diferencias entre perfiles de usuarios a la hora de emplear un plano o símbolo táctil.

2.2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis de trabajo de esta tesis se plantean a continuación:

- **Hipótesis 1:** Los dispositivos táctiles orientados a personas con deficiencia visual o ciegos son un factor positivo para la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio construido.
- **Hipótesis 2:** los símbolos y planos táctiles, del contexto del patrimonio cultural construido.

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

do, no acaparan todas las posibilidades formales de las 3 dimensiones, en tanto son una traducción directa, de las representaciones bidimensionales al relieve. **Una simbología táctil que ampliase en mayor medida las posibilidades formales de las tres dimensiones mejoraría la usabilidad de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera.**

- **Hipótesis 3:** la lectura táctil de los planos patrimoniales contruidos no es intuitiva porque, entre otros motivos, algunos de los símbolos de representación son “traducciones directas” de los aspectos visuales a los táctiles. Se traducen los símbolos desde los aspectos y atributos visuales a los táctiles. **Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil y no tanto desde sus aspectos visuales, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada.**

2.3. OBJETIVO

El objetivo general de este estudio es optimizar y ampliar los símbolos táctiles que se emplean en la actualidad en planos en relieve mediante nuevos desarrollos acordes con las últimas tecnologías de fabricación.

Las nuevas técnicas de fabricación y prototipado rápido, entre las que se encuentra la Impresión en 3D, permiten reproducir formas complejas que con los sistemas tradicionales de producción de planos táctiles no serían posibles ([Véase Producción de planos táctiles en página 76](#)).

2.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para abordar un objetivo como el propuesto y comprobar la veracidad de las hipótesis de trabajo se hace necesario plantear una serie de objetivos específicos asociados a sus correspondientes preguntas de investigación.

De esta manera, primero cabe cuestionarse un aspecto general, si los planos o maquetas táctiles resultan de ayuda y se perciben como elementos positivos en el contexto de los usuarios con discapacidad visual, tal y como se plantea, como se verá, en el Objetivo 1. Para luego plantear una serie de objetivos (2-4) cuya finalidad se centra en terminar de comprobar la veracidad o no de las hipótesis planteadas.

Los objetivos concretos se describen a continuación.

- **Objetivo 1:** Determinar si el empleo de planos táctiles es un factor positivo en la función

2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

de orientación y comprensión en espacios del patrimonio arquitectónico, para usuarios invidentes o deficientes visuales.

- **Objetivo 2:** Determinar si ciertos símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D y, por lo tanto, podría extenderse el rango de símbolos táctiles discriminables incluyendo la categoría de símbolos 3D, propuestos en este estudio.
- **Objetivo 3:** Determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos.
- **Objetivo 4:** Determinar cómo influye el factor “traducción directa” (de los aspectos gráficos al relieve) en la comprensión y discriminación de símbolos táctiles.

A continuación se muestra en la [Tabla 1](#) la relación existente entre las hipótesis de trabajo y los objetivos, así como con cada uno de los experimentos que se explicarán con detalle en el apartado posteriores ([Véase ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL en página 121](#)):

HIPÓTESIS	OBJETIVOS	EXPERIMENTOS
Hipótesis 1: Los dispositivos táctiles orientados a personas con deficiencia visual o ceguera son un factor positivo para la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio construido.	Objetivo 1: Determinar si el empleo de planos táctiles es un factor positivo en la función de orientación y comprensión en espacios del patrimonio arquitectónico, para usuarios invidentes o deficientes visuales.	Experimento A, Encuesta y mapas
Hipótesis 2: Una simbología que apliase en mayor medida las posibilidades formales de las tres dimensiones mejoraría la usabilidad de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera.	Objetivo 2: Determinar si ciertos símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D y, por lo tanto, podría extenderse el rango de símbolos táctiles discriminables incluyendo la categoría de símbolos 3D, propuestos en este estudio.	Experimento B, Discriminación táctil Experimento C, Memorización háptica
	Objetivo 3: Determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos.	Experimento D, Plano táctil urbano Experimento E, Plano táctil interior
Hipótesis 3: Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil y no tanto desde sus aspectos visuales, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada.	Objetivo 4: Determinar cómo influye el factor “traducción directa” (de los aspectos gráficos al relieve) en la comprensión y discriminación de símbolos táctiles.	Experimento E, Plano táctil interior

Tabla 1: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y experimentos.

ALCANCE, CONCRECIÓN Y LÍMITES DE LA TESIS

El proyecto se orienta dentro del marco del diseño de dispositivos englobando fundamentalmente tres dimensiones conceptuales: una relativa a las personas, es este caso los usuarios con discapacidad visual; otra, al propio ámbito de los objetos de uso, concretamente los planos táctiles para la orientación y la movilidad; y una tercera, al ámbito de la interpretación del patrimonio cultural, en este caso el arquitectónico o urbanístico.

En relación a los usuarios se ha centrado su estudio en personas adultas (de más de 18 años), de ambos sexos, invidentes y deficientes visuales. Atendiendo a que pueden ser un grupo interesado en la temática de la cultura, y por lo tanto en la visita a espacios patrimoniales o museos y que, en el caso de la orientación y movilidad, pueden además estar interesados en mejorar su independencia gracias al uso de estos productos. Para realizar el estudio se han empleado además personas sin discapacidad visual que han realizado los experimentos con un antifaz, con el fin de que sólo operasen mediante el sentido del tacto, de manera unimodal. Este hecho se debe a la dificultad de reclutar voluntarios con discapacidad visual. En este caso se han realizado experimentos hasta en cuatro ciudades diferentes, Barcelona, Castellón, Valencia y Tarragona, con el fin de completar una muestra de participantes de la que se puedan extraer, al menos, algunos datos con carácter significativo desde la óptica cuantitativa de los análisis estadísticos. Por otro lado, es una práctica muy común en proyectos de este tipo emplear toda esta variedad de participantes porque además ayuda a comparar diferencias y similitudes entre perfiles.

En segundo lugar, el tipo de dispositivos a estudiar en este marco son los dispositivos hápticos. Concretamente las reproducciones en planta en relieve de espacios pertenecientes al patrimonio cultural, arquitectónico y urbanístico. Y en un plano más concreto el análisis del efecto producido por la introducción de símbolos tridimensionales táctiles en éstos.

En tercer lugar, la pretensión de este proyecto es, entre otros, llegar a facilitar la orientación y la comprensión dentro del contexto del patrimonio cultural construido. De esta manera, los experimentos llevados a cabo en este trabajo se han centrado en supuestos del patrimonio cultural construido. Pero se puede advertir que seguramente los resultados obtenidos son extrapolables en otros encuadres contextuales.

Evidentemente, como en todo trabajo, se deben definir también unos límites que ayuden a

concretar mejor el fenómeno de estudio y a validar sus resultados. En este sentido, se ha focalizado la experiencia aquí expuesta únicamente en aspectos de percepción táctil, aunque es bien sabido que la asistencia verbal es un ámbito determinante para la comprensión de un ente táctil por parte de estas personas (Consuegra Cano, 2002). El hecho es que si se mejora la percepción táctil se mejorará el uso de estos productos.

Por último, la propuesta de símbolos tridimensionales parte del autor, acogíendose por un lado a formas geométricas básicas en volumen y, por otro lado, a unas proporciones determinadas por números o fracciones enteras que han sido validadas previamente en experimentos piloto (Gual, Puyuelo, & Lloveras, 2011a). Posiblemente el empleo de otros ratios de proporción podrían mejorar los símbolos propuestos, de esta manera se deben entender estos símbolos como una propuesta inicial que en algún caso puede abrir nuevas posibilidades al diseño y estudio de otros símbolos táctiles en tres dimensiones.

La metodología diseñada para este estudio combina diversas estrategias pautadas en cuatro fases fundamentales, una primera fase analítica, una segunda experimental, una tercera fase de interpretación en la que se contrastan los datos obtenidos con las hipótesis planteadas y se concluyen los principales supuestos, y por último, una fase de comunicación en la que se enmarca, entre otros, este documento.

Así, en primer lugar, se ha realizado un análisis documental mediante el que se ha captado información del estado del arte y de la técnica y de los posibles antecedentes a este trabajo. En esta primera fase se ha establecido un marco teórico bajo el cual conducir el estudio y formular las hipótesis de trabajo. Las fuentes documentales consultadas han sido muy variadas, destacando las bases de datos digitales sobre artículos científicos.

Posteriormente se ha realizado el diseño del plan metodológico que, finalmente, ha constado de 2 experiencias previas y de 5 experimentos cuya finalidad ha sido tratar de responder a las preguntas de investigación y así, alcanzar los objetivos planteados. Cada uno de los 5 experimentos se relaciona de una manera concreta con alguno de los objetivos específicos del estudio y se explican con detalle en apartados posteriores ([Véase PREGUNTAS DE INVESTIGACION Y SU RELACION CON LOS EXPERIMENTOS en página 123](#)).

El diseño de la fase experimental emplea una combinación de diferentes técnicas de investigación, tratando de llegar a un equilibrio entre los objetivos perseguidos, los recursos a los que se tiene acceso y los instrumentos adecuados a los propósitos del estudio. En este sentido, se utilizan técnicas de investigación cualitativas como mapas cognitivos y observación directa (Aldersey-Williams, Bound, & Coleman, 1999); pero, por otro lado, también se emplean técnicas cuantitativas, tales como por ejemplo, realización de tareas con *mockups* o cuestionarios (Courage & Baxter, 2005; Laurel, 2003).

4.1. REGISTRO Y TRATAMIENTO DE DATOS

El registro de las actividades y la recogida de datos se ha llevado igualmente con diferentes recursos, en función del experimento, desde toma de datos in situ, partiendo normalmente de la observación directa, hasta videograbación digital. Los datos obtenidos se han tratado con diferentes programas adecuados al cálculo estadístico.

4.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población escogida para el estudio es el de las personas con discapacidad visual, mayores de edad, residentes en España. Este colectivo cuenta con 82.000 personas en nuestro país. Los participantes del estudio han sido usuarios representativos de esta población.

En este sentido, han intervenido usuarios invidentes y con baja visión, así como usuarios videntes, a estos dos últimos grupos se les ha tapado los ojos con un antifaz para la realización de las distintas pruebas únicamente empleando el sentido del tacto. La muestra empleada varía en cada experimento y se describe en detalle más adelante: desde 10 usuarios en el Experimento A, Encuesta y mapas, hasta 56 en el Experimento D, Plano táctil urbano ([Véase DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS en página 131](#)). En total, han participado un total de 75 usuarios contando todos los experimentos realizados.

Cabe anotar que se ha considerado la participación de personas videntes debido a la enorme dificultad para reclutar voluntarios con discapacidad visual. Siendo, por otro lado, una práctica habitual en este tipo de estudios completar la muestra con videntes a los que se les limita el sentido de la vista con un antifaz para la realización de las pruebas experimentales. Así lo atestiguan numerosos trabajos (Jehoel et al., 2005; McCallum et al., 2006; Millar & Al-Attar, 2003; Russier, 1999; Tu et al., 2011; Tu et al., 2002; Jehoel et al., 2006).

En otro orden de cosas, la inclusión de este tipo de usuarios, denominados en la literatura anglosajona *blindfolded* cobra más sentido si se analiza este hecho desde la perspectiva del Diseño Universal (Gual, Lloveras, Puyuelo, & Romero, 2010a; Wolfgang & Ostroff, 2003) o Diseño Inclusivo (Clarkson, Coleman, Keates, & Lebbon, 2003; Keates & Clarkson, 2003), óptica desde la cual se afirma que se debe diseñar para todos y, en este sentido, a partir del criterio de abordar el caso concreto desde la perspectiva del tipo de usuario más desfavorecido. En este sentido, integrando a las personas con discapacidad, estaremos integrando a un amplio espectro de usuarios con una mayor gama de diversidad funcional.

En el caso concreto de este estudio, un usuario vidente apenas aprovecha en su día a día las capacidades de su percepción táctil, sin embargo para un invidente o deficiente visual este sentido es especialmente útil. De esta manera, el vidente por regla general no tiene una experiencia táctil consolidada. Si un usuario sin experiencia táctil, como un vidente, realiza las tareas que se le proponen en este estudio correctamente, cabe suponer que otro usuario con discapacidad visual y

ciertas habilidades hápticas, también podrá realizar las mismas tareas, igual o mejor. En cualquier caso, el público crítico de este estudio, las personas invidentes, es el más desfavorecido, siguiendo la filosofía del Diseño Inclusivo (Clarkson et al., 2003; Keates & Clarkson, 2003).

Por último cabe comentar que todos los participantes que han realizado los experimentos lo han hecho de forma voluntaria y por lo tanto se ha contado con el consentimiento escrito de éstos, tanto a participar en las diferentes pruebas, como a ser filmados para registrar sus resultados y tratar sus imágenes en foros académicos y científicos. En todo momento se han seguido criterios éticos para realizar las pruebas y también se han respetado aspectos jurídicos relativos a la protección de datos según el artículo 18.1 de la Constitución Española; la Ley Orgánica 1/1982, de 5 de mayo, de Protección Civil del Derecho al Honor, a la Intimidad Personal y Familiar y a la Propia Imagen; y la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

4.2.1. TIPOLOGÍA DE PARTICIPANTE DE LOS EXPERIMENTOS

En todos los experimentos llevados a cabo la segregación de la muestra se ha realizado por género, tipología de usuario y experiencia con la lectura táctil del participante. La tipología de usuario contempla tres tipos diferentes de participantes: los **invidentes**, los **videntes** y los usuarios con baja visión o **deficientes visuales**. Para segregar el grupo en relación a su experiencia táctil, es decir, a su grado de conocimiento de técnicas o estrategias de lectura háptica, se han considerado tres grupos de personas según su grado de conocimiento y experiencia previa: **Usuarios expertos**, aquellos que ya han tenido contacto previo con gráficos tangibles; **Usuarios familiarizados con la lectura en Braille**, pero que no suelen tener contacto con gráficos tangibles; y por último, **Usuarios inexpertos**, aquellos que es la primera vez que toman contacto con un producto de estas características. Como se ha comentado anteriormente, a los usuarios con restos visuales y videntes se les ha tapado los ojos con un antifaz para que operen sólo mediante el sentido del tacto. Las muestras en detalle tomadas en cada experimento serán descritas posteriormente.

4.3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS. ASPECTOS ESTADÍSTICOS

En la fase de interpretación se han tabulado los resultados obtenidos en la fase de experimentación en forma de tablas y gráficas para así realizar un análisis detallado de los datos con el fin

4. METODOLOGÍA

de contrastar las hipótesis de trabajo y extraer las conclusiones pertinentes. Para ello, se han empleado técnicas de estadística inferencial que permiten generalizar los resultados a toda la población de estudio, a partir de una muestra de ésta.

En este sentido, se hace necesario introducir las particularidades de los contrastes estadísticos empleados en este capítulo. A continuación se detallan los distintos tipos de pruebas estadísticas empleadas en los experimentos.

Para realizar contrastes de hipótesis entre grupos es necesario conocer las características de la población estudiar para aplicar las técnicas estadísticas más adecuadas. Una de las características que determina el tipo de pruebas adecuadas es conocer el tipo y forma de la distribución de los datos, es decir, si éstos encajan en una distribución normal, tipo campana de Gaus (simétrica), o no. Si la población cumple las condiciones de normalidad las pruebas a realizar serán paramétricas y si por el contrario, es asimétrica (no normal) serán no paramétricas. Para determinar la normalidad de una población o una muestra hay que calcular los coeficientes de asimetría y curtosis, éstos deben encontrarse ambos entre -0.5 y 0.5 para considerar que son datos que continúan una distribución normal (Martínez Bercandino, 2012).

En el caso de este estudio, las variables a analizar en los test de discriminación táctil son número de errores y tiempos de localización. En un estudio sensitivo como éste, la primera de las variables no es normal al tratarse de conteos y la segunda se ha comprobado en cada caso y en ningún experimento se han obtenido valores que indiquen que los datos siguen una distribución normal. Por lo tanto los tests no paramétricos se consideran los más adecuados en este estudio.

Existen diversos tests no paramétricos. En este estudio se han empleado los siguientes:

- El test no paramétrico adecuado para contrastar dos muestras independientes es la prueba *U de Mann-Whitney*. Se trata de la alternativa a la conocida *prueba t* sobre la diferencia de medias cuando no se obtiene una distribución normal en el cálculo de los coeficientes de curtosis y asimetría. La hipótesis nula (H_0) es la igualdad de medias y, comúnmente se rechaza dicha hipótesis cuando el *p-valor* obtenido del contraste es inferior a 0.05, es decir, con un *p-valor* menor de 0.05 se puede afirmar con un 99,5 % de probabilidad ($\alpha=0.05$) que las medias comparadas son estadísticamente diferentes y, por lo tanto, el resultado puede considerarse significativo. Si se rechaza la hipótesis nula, entonces se acepta, por defecto, la hipótesis alternativa (H_1), la cual indica que los promedios son diferentes.

- En el contraste de varias muestras independientes el test no paramétrico que equivale a la prueba ANOVA es la prueba *H de Kruskal-Wallis*. Se trata de la extensión a más de dos muestras de la prueba *U de Mann-Whitney*. Al igual que en el caso anterior la hipótesis nula (H_0) es la igualdad de las medias y se rechazará dicha hipótesis cuando el *p-valor* obtenido del contraste sea inferior a 0.05.
- Una tercera prueba que se ha empleado en este estudio, en los experimentos 1 y 2, ha sido el *test de Wilcoxon*. Esta prueba se puede aplicar cuando las muestras no son independientes, es decir, cuando están emparejadas. Es el caso de un mismo grupo de participantes que realizan dos pruebas en condiciones diferentes, antes y después. El mecanismo de aceptación o no de la hipótesis alternativa es el mismo que en los casos anteriores.

Por otro lado, conviene calcular la potencia estadística (poder estadístico) y el tamaño del efecto de las pruebas realizadas (Cohen, 1992). La potencia indica el grado de probabilidad de rechazar erróneamente la hipótesis nula (H_0), o dicho de otra manera, afirmar que las medias son diferentes cuando no lo son, aceptando la hipótesis alternativa (H_1). Al cálculo de la potencia se le añade el del tamaño de efecto, mediante el cual se indica el grado de diferencia entre los promedios comparados (Quezada, 2007). El cálculo de la potencia o poder se realiza a partir del tamaño muestral, el nivel de error (convenido por los científicos en 0.05) y el tamaño de efecto entre las medias. En este sentido los datos estadísticos relativos a la dispersión o desviación juegan un papel fundamental, no sólo los valores medios. Si la potencia calculada es superior a 0.8 se puede considerar que la hipótesis nula (H_0) rechazada con un *p-valor* menor de 0.05 está correctamente rechazada, de esta manera se despejan dudas sobre si aceptar la hipótesis alternativa (H_1), que las medias no sean iguales, es la decisión correcta. Por último, si el tamaño de efecto obtenido es mayor de 0.8, éste se considera un tamaño de efecto grande, si está entre 0.2 y 0.8, medio, y menos de 0.2 se considera un tamaño de efecto pequeño (Quezada, 2007).

Por último, es conveniente indicar que estos cálculos se pueden realizar a partir del volcado de datos en programas específicos como los empleados en este estudio, SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) y *G-power*, este último de acceso abierto y desarrollado por profesores de psicología de diferentes universidades alemanas.

ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS

Para dar respuesta a las preguntas de investigación es preciso concretar unos experimentos que permitan contrastar la usabilidad y eficiencia de uso tanto de los planos táctiles, como de los nuevos símbolos desarrollados. De este modo, se han diseñado una serie de experimentos que responden a distintos niveles de aplicación. Desde experimentos genéricos, carentes de un contexto específico y por lo tanto realizados todos ellos en entorno de laboratorio, hasta experimentos aplicados en base a un entorno concreto del patrimonio cultural, arquitectónico o urbanístico y que se han conducido tanto en el contexto real, como en entorno de laboratorio (Véase **METODOLOGÍA** en página 107 y **ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL** en página 121).

En la siguiente tabla (Tabla 2) se puede apreciar el carácter y lugar de cada uno de los experimentos realizados, incluyendo las primeras experiencias piloto.

EXPERIMENTO	CONTEXTO	BASE DEL EXPERIMENTO	LUGAR
Experimentos Piloto	Genérico	Laboratorio	
	Aplicado	Entorno real	Entorno y acceso del Museu Marítim (Barcelona)
Experimento A, Encuesta y mapas cognitivos	Aplicado	Entorno real	La Bastida de les Alcusses (Moixent)
Experimento B, Discriminación táctil	Genérico	Laboratorio	
Experimento C, Memorización háptica	Genérico	Laboratorio	
Experimento D, Plano táctil urbano	Aplicado	Laboratorio	Entorno y acceso del Museu Marítim (Barcelona)
Experimento E, Plano táctil interior	Aplicado	Laboratorio	Casa Batlló (Barcelona)

Tabla 2: Tabla resumen con las características de los experimentos.

Por lo tanto, una parte de los experimentos se contextualizan en un entorno de tipo laboratorio, es decir, en espacios interiores controlados por el investigador.

De este modo, distintas organizaciones han colaborado proporcionando los citados espacios: la ONCE en sus delegaciones de Barcelona, Castellón, Tarragona y Valencia; la *Associació Dis-capacitat Visual de Catalunya B1+B2+B3*; la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC) y la *Universitat Jaume I* (UJI) de Castellón.

Los lugares en los que se han realizado estos experimentos de laboratorio eran espacios in-

5. ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS

teriores tranquilos, bien iluminados y sin ruidos ni elementos perturbadores. A estos lugares, los usuarios, por un lado, conocían cómo llegar de modo independiente, hecho que facilitaba la cita y, por otro lado, se sentían cómodos y relajados para realizar las tareas propuestas, ya que estaban previamente familiarizados con ellos. No obstante, algunos pocos participantes, prefirieron realizar las pruebas experimentales en su propio hogar debido a sus dificultades de desplazamiento.

Por otro lado, los experimentos aplicados sirven de hilo conductor al estudio para generar el material táctil concreto basado en sus respectivas configuraciones espaciales y, también, para contrastar en un contexto real el funcionamiento de los productos evaluados.

De esta manera, a partir de la Planta Noble de la *Casa Batlló* se han realizado dos nuevos planos táctiles de la distribución de ésta, sobre los cuales los participantes han realizado sus respectivas tareas experimentales. El entorno del *Museu Marítim*, del mismo modo, ha servido de base para confeccionar dos planos en relieve de la zona de acceso a éste y, por otro lado, para realizar las pruebas piloto preliminares con participantes invidentes en el propio contexto real. Y por último, el yacimiento de *La Bastida de les Alcusses* en Moixent en el que se han realizado determinadas pruebas con usuarios en el propia entorno, aprovechando los recursos táctiles de este lugar y que se trata de un espacio abierto, tranquilo y no muy concurrido, ideal para realizar experimentos sin distracciones que puedan entorpecer el desarrollo de las pruebas con los usuarios e introducir sesgos inesperados..

Así, finalmente, se han seleccionado como contextos aplicados para los experimentos aplicados los tres espacios citados anteriormente. Éstos responden a un denominador común: son lugares, en los que se ofrece al visitante la posibilidad de adoptar distintas actitudes y de aprender aspectos concretos relativos a la cultura. Se caracterizan por aportar una experiencia real y directa con objetos, lugares o personas, y por canalizar un proceso de aprendizaje voluntario que, a su vez, es estimulado por el propio centro de interpretación de la cultura (Packer & Ballantyne, 2002).

Los ámbitos seleccionados son contextos reales diferenciados por su variedad temática y ambiental. Son lugares de posible interés para las personas con discapacidad visual. Estos lugares han sido los siguientes:

- **La Casa Batlló** de Antoni Gaudí en Barcelona (*Imagen 57*), la cual forma parte del catálogo de patrimonio mundial de la UNESCO (UNESCO, 2004). Ha sido seleccionada por representar en sí misma un lugar emblemático con carácter de espacio interior de sumo interés para cualquier amante de la cultura, especialmente del modernismo cata-

lán y por presentar recursos táctiles entre otros dispositivos. *La Casa Batlló* fue el primer espacio museístico en España en adecuar la visita para ciegos en colaboración con la ONCE. Su visita por lo tanto incluye al colectivo de las personas ciegas. El propio interior se puede considerar como una casa táctil, cuyas formas, relieves y texturas se pueden palpar por parte de los visitantes. El guión de la audio guía ofrece referencias espaciales que facilitan la ubicación de las personas ciegas. Además, una maqueta tridimensional de la fachada, situada en el interior, permite percibir las formas y ornamentos que Gaudí dispuso en su exterior. Esta maqueta táctil se desarrolló en colaboración con el Taller de Maquetas de la Escuela Técnico Superior de Arquitectura del Vallès (ETSAV), centro adscrito a la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC). Asimismo, hay planos de metacrilato con relieves y explicaciones en Braille, que permiten percibir la Planta Noble, la planta más singular del edificio y en la que se centra su visita (Imagen 58). Los textos en Braille que se ofrecen están traducidos a varios idiomas y se encuentran a disposición de las personas invidentes. Para hacer más accesible la visita a las personas ciegas, los acompañantes de las personas invidentes no pagan entrada.

5. ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS



Imagen 57: Fachada de la Casa Batlló.



Imagen 58: Zona táctil de la Planta Noble de la Casa Batlló.

- El entorno y acceso al **Museu Marítim de Barcelona** (MMB) en la zona de Drassanes (Barcelona), aneja al barrio del Raval, y a *Les Rambles* y en general al casco antiguo de la ciudad (Imagen 59). Este museo tiene sus instalaciones situadas en las antiguas dependencias portuarias de la ciudad de Barcelona, sobre un edificio gótico de finales del

siglo XIII. Su centro de interpretación trabaja desde hace años por ser una institución abierta a todas las personas, tanto desde el punto de vista de las barreras físicas como del acceso a sus colecciones y exposiciones temporales, es decir, a sus contenidos. El *Museu Marítim* es un centro de interpretación pionero en la visita adaptada a personas con discapacidad visual, ya que cuenta, desde hace tiempo, con planos, maquetas táctiles (Imagen 60), personal formado en las visitas guiadas para personas con necesidades especiales y audioguías adaptadas, entre otros recursos. Las guías multimedia interactivas, cuyo préstamo está incluido en el precio de entrada, ofrecen textos, vídeos y contenidos adicionales que el usuario puede enviar a su teléfono móvil o dirección de correo electrónico. Su página web también se encuentra adaptada (Consorti de les Drassanes Reials i Museu Marítim, 2010). Éstas y otras acciones le valieron el premio *Computer-World 2008* al Impacto en el Ciudadano en Cataluña, otorgado por *ITG Communications*, uno de los grupos editoriales de nuevas tecnologías de la comunicación más importantes del mundo, el premio se concedió como reconocimiento a su apuesta por el bienestar del ciudadano mediante el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación (TICs). Además, su interés por el desarrollo de la filosofía del diseño inclusivo en sus instalaciones y gestión institucional se muestra en algunas de las múltiples actividades que allí se ofrecen, como es el caso de las Jornadas de Comunicación 3.0 y Accesibilidad Total, en las que se posibilita un foro de intercambio profesional para la mejora en materia de accesibilidad y comunicación.

5. ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS



Imagen 59: Acceso principal al Museu Marítim de Barcelona.



Imagen 60: Conjunto de dispositivos táctiles situados en el Museu Marítim de Barcelona.

- El entorno arqueológico de **La Bastida de les Alcusses** en Moixent (Valencia). Se trata de los restos de un poblado-fortaleza íbero (Imagen 61) del siglo IV a. C. Desde su posición privilegiada sobre lo alto de la cresta de la *Serra Grossa* se aprecian unas imponentes vistas del Valle de Montesa. Además, estos restos arqueológicos se encuentran próximos a un tramo de la antigua Vía Augusta de origen romano (VV. AA., 2011). Desde principios del siglo XX el Servicio de Investigación Prehistórica (SIP) de la Diputación de

Valencia lleva a cabo campañas de excavaciones sistemáticas en este lugar de las que se han extraído importantes hallazgos. La emblemática figura de metal del Guerrero de Moixent, láminas de plomo con escritura ibérica, instrumentos de hierro y restos de vajilla cerámica son algunos de ellos. *La Bastida de les Alcusses* se encuentra por lo tanto situada en plena naturaleza y en ella el visitante puede encontrar recursos inclusivos que le facilitan su interacción con el espacio y con el conocimiento del mundo prehistórico. En este sentido, el visitante puede acceder a este lugar a través del mencionado recorrido señalizado y dotado con paneles explicativos, así como mediante la asistencia de un guía especializado. Además, el recinto cuenta con la recreación de una antigua casa ibérica en la que se realizan talleres didácticos. En 1931 este conjunto fue declarado Monumento Histórico-Artístico. Actualmente es el *Museu de Prehistòria de València*, perteneciente a la Diputación de Valencia, la institución encargada de velar por su gestión, conservación, mantenimiento y divulgación. En el año 2011 se emprendieron algunas acciones con el objetivo de mejorar, entre otros aspectos, su accesibilidad mediante el proyecto de "Acondicionamiento y accesibilidad en el entorno arqueológico de la Bastida de Alcusses" dirigido por Marina Puyuelo y M^a Dolores Merino desde la *Universitat Politècnica de València*. Este proyecto estuvo supervisado por el equipo del Museo de Prehistoria de Valencia y financiado por un Plan de Desarrollo Local de fondos europeos en el que participaba el Ayuntamiento de Moixent. Este proyecto incluía un análisis general del entorno, así como de su estado de conservación y posibilidades de mejora. Finalmente, el proyecto ejecutado incluyó la delimitación y mejora de la seguridad del itinerario de visita, la creación de dos miradores para observar las privilegiadas vistas del entorno, y la inclusión de tres maquetas táctiles de fundición de bronce que mostraban la configuración global y disposición del poblado en su conjunto y accesos. Estos dispositivos táctiles son los que centran el interés de este estudio y justifican en gran medida la selección de este lugar. Así, una primera maqueta se sitúa en la entrada y representa la situación general y el estado actual del lugar, en ella se exponen las representaciones táctiles de las estructuras visibles del poblado, los restos excavados, los consolidados, las zonas no consolidadas y otras áreas por excavar (Imagen 62). A mitad del itinerario de la visita se sitúa una segunda maqueta táctil que permite conocer cómo eran las casas y la arquitectura tradicional íbera. Finalmente, una tercera maqueta se localiza en la

5. ÁMBITO TEMÁTICO DE LOS EXPERIMENTOS

entrada norte del poblado, a final del itinerario visitable, y reproduce una puerta de acceso.



Imagen 61: Imagen de algunas estructuras de casas ibéricas consolidadas en el yacimiento de La Bastida de les Alcusses en Moixent (Valencia). Autora de la fotografía: Marina Puyuelo.



Imagen 62: Imagen de la maqueta táctil general situada en la entrada de La Bastida de Moixent (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo).

ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

Se han llevado a cabo un total de 7 experimentos: 2 pilotos cuyo objetivo era realizar una toma de contacto preliminar con el ámbito de estudio; y 5 experimentos finales que cierran el modelo experimental establecido (Tabla 3).

EXPERIMENTOS	MATERIAL EMPLEADO
Experimentos Piloto	Plano táctil del entorno y acceso del Museu Marítim (Barcelona)
	Conjunto de símbolos táctiles
Experimento A, Encuesta y mapas cognitivos	Plano táctil de La Bastida de les Alcusses (Moixent)
Experimento B, Discriminación táctil	Conjunto de símbolos táctiles
Experimento C, Memorización háptica	Conjunto de símbolos táctiles
Experimento D, Plano táctil urbano	Plano táctil del entorno y acceso del Museu Marítim (Barcelona)
Experimento E, Plano táctil interior	Plano táctil de la Casa Batlló (Barcelona)

Tabla 3: Tabla resumen con los experimentos y materiales empleados en cada uno de ellos.

6.1. EXPERIMENTOS PILOTO

El primer experimento piloto se ha canalizado a partir de un plano táctil realizado mediante impresión en 3D que han empleado una serie de usuarios discapacitados visuales para aprender una ruta del casco antiguo de Barcelona. El plano diseñado incluía algunos símbolos sólidos (3D) junto con otros más convencionales. Los participantes dibujaron mapas cognitivos del entorno con los que se evaluó el grado de asimilación de la ruta, y a todos ellos se les realizó una entrevista estructurada en profundidad. Una vez aprendida la ruta con el plano táctil, los participantes la realizaron correctamente en el contexto real (Imagen 63). Todos los participantes valoraron muy positivamente el plano táctil como instrumento para el aprendizaje (Gual et al., 2012; Gual et al., 2011b; Puyuelo Cazorla et al., 2011).



Imagen 63: Imagen de un usuario realizando un recorrido real durante un experimento piloto.

Un segundo experimento piloto sirvió para determinar qué símbolos en 3D pueden ser susceptibles de ser empleados en planos táctiles reales para ser empleados en los experimento que se describirán posteriormente. Se tomó como punto de partida los sólidos básicos por poseer éstos formas elementales cuya geometría simple y racional podría ser susceptible de reconocerse correctamente mediante el tacto. Los participantes tuvieron que percibir los 80 símbolos propuestos en el experimento sólo mediante el sentido del tacto y realizar una breve descripción verbal que posibilitara al investigador reconocer qué símbolos se percibían mejor y cuáles daban más errores (Imagen 64). Se asumía que si una forma se describía correctamente era porque se percibía correctamente. Este experimento demostró que los símbolos en 3D con formas básicas eran unos buenos candidatos a ser empleados como símbolos táctiles (Gual et al., 2011a; Gual et al., 2012).

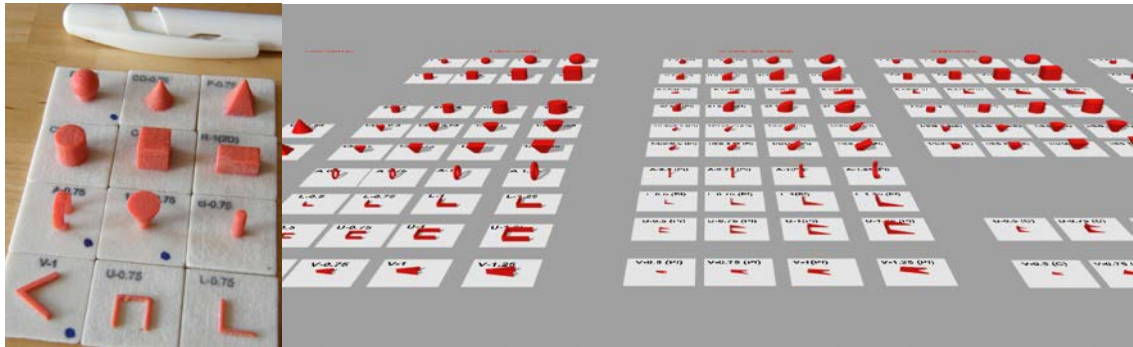


Imagen 64: Imagen de símbolos táctiles testados en los primeros experimentos piloto.

6.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACION Y SU RELACION CON LOS EXPERIMENTOS

Una vez se tomó contacto con el ámbito y la población de estudio, desde una óptica experimental, se procedió a realizar el resto de experimentos que a continuación se describen en función de la pregunta de investigación planteada (Tabla 4):

PREGUNTAS	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	EXPERIMENTOS
Pregunta 1	Hipótesis 1	Objetivo 1	Experimento A, Encuesta y mapas
Pregunta 2	Hipótesis 2	Objetivo 2	Experimento B, Discriminación táctil Experimento C, Memorización háptica
Pregunta 3		Objetivo 3	Experimento D, Plano táctil urbano Experimento E, Plano táctil interior
Pregunta 4	Hipótesis 3	Objetivo 4	Experimento E, Plano táctil interior

Tabla 4: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y experimentos.

6.2.1. PREGUNTA 1 DE INVESTIGACIÓN

¿Se puede afirmar que el uso de planos táctiles es un factor positivo para mejorar la orientación y la comprensión de espacios de patrimonio construido en personas con discapacidad visual?

a. Experimento A, Encuesta y mapas. Valoración de la utilidad de los planos táctiles

El experimento A tuvo como objetivo determinar si el empleo de planos táctiles es un factor positivo en la función de orientación y comprensión en espacios del patrimonio construido, para

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

usuarios invidentes o deficientes visuales (Objetivo 1- Hipotésis 1).

b. Algunos aspectos del Experimento A, Encuesta y mapas

Este experimento ha tenido dos partes diferenciadas en cuanto al procedimiento metodológico empleado. En una primera parte se realizó una visita a un entorno cultural de carácter arqueológico, *La Bastida de les Alcusses* en Moixent (Valencia) (VV. AA., 2011), de la que se derivó una breve encuesta a los participantes, cuyo fin fue conocer la valoración subjetiva de los usuarios respecto a la utilidad de determinados productos táctiles (Imagen 65). En una segunda parte, que complementaba a la encuesta, se llevó a cabo un análisis comparativo de mapas cognitivos dibujados por los propios usuarios para determinar si el uso de planos y/o maquetas táctiles mejoraba el nivel de comprensión de la información general de un recorrido.



Imagen 65: Participantes en la experiencia explorando una maqueta táctil de detalle.

Se consideró que si, por un lado, los participantes percibían de manera positiva el uso de planos y/o maquetas táctiles y, por otro, estos dispositivos ayudaban a mejorar la comprensión del fenómeno expuesto, estos productos táctiles podrían considerarse elementos de mejora de la comprensión del entorno y, por lo tanto, un factor positivo en la orientación y la comprensión en el espacio en el que son insertados, verificando así la primera hipótesis de investigación, la cual considera que estos elementos son productos que mejoran la interacción con el entorno en términos de orientación y comprensión.

6.2.2. PREGUNTA 2 DE INVESTIGACIÓN

¿Es posible extender el rango de símbolos fácilmente discriminables al tacto mediante el empleo de símbolos con carácter volumétrico (3D)?

a. Experimento B, Discriminación táctil. Test de discriminación táctil sobre plantillas descontextualizadas

El objetivo de este experimento es determinar si los símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D en relación a su percepción, grado de lectura, reconocimiento y discriminación táctil (Objetivo 2) en un contexto no específico concreto (Véase ANEXO Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300).

Algunos aspectos del Experimento B, Discriminación táctil

Previamente a determinar si la introducción de símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos (Objetivo 3), se ha hecho necesario conocer el rango de errores y aciertos que producen estos símbolos en relación a sus similares en relieve (2D). Por lo tanto, la finalidad del Experimento B, Discriminación táctil ha sido evaluar la eficiencia de uso de estos símbolos y compararlos con los símbolos en 2D (Imagen 66).

Este experimento ha tratado de analizar y comparar el rango de eficiencia del uso de símbolos 3D respecto de los símbolos en 2D en un entorno descontextualizado, es decir, sin que les sea asignado, entre otros aspectos, un contenido-referencia y una posición concreta en un plano táctil, sino empleando plantillas-test con una distribución de símbolos en forma de matriz (Véase ANEXO Descripción pormenorizada de los tests en página 308).

Se consideraba que si los errores de percepción y discriminación de los símbolos en 3D se encontraban entre los obtenidos por los símbolos 2D en un entorno descontextualizado, es decir, sin ser aplicados en su contexto natural, en un gráfico tangible, los primeros podían ser buenos candidatos para ser empleados en planos táctiles, al menos al mismo nivel que los de dos dimensiones. Los rangos de aciertos que se derivan de la revisión literaria indican que un símbolo es susceptible de ser empleado en un plano táctil, cuando presenta un 85 % de aciertos, siempre y cuando menos de un 5% de éstos sean críticos (Lehto & Buck, 2008). Aunque algunas obras citan esta barrera entre un 90 y 95% (Berlá, 1982) o sólo un 5% de errores según el *Tactile Graphics Kit* de la *American Printing House for the Blind, Inc.* (Amick et al., 2002)

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

Con este experimento se trataba de verificar, aunque fuese sólo parcialmente, la Hipótesis 2 del estudio, a falta de realizar más experimentos en los que se aplicara en planos táctiles los símbolos en 3D (Experimentos D y E). Esta hipótesis enuncia una mejora en términos de usabilidad de la simbología táctil actual si se aprovechan las posibilidades que ofrecen las formas volumétricas (3D). En cualquier caso, se trataba además de dar respuesta a la Pregunta 2 de investigación, la cual trataba sobre la posibilidad de extensión del rango de símbolos táctiles fácilmente discriminables al tacto. En este sentido, con este experimento sólo se probaba parcialmente esta posibilidad, ya que el uso de símbolos táctiles en planos requiere cierto grado de memorización háptica (Blades et al., 2010; Ballesteros, 1993) que, tal vez, se puede facilitar o no, si se usan en combinación los tres tipos de elementos de diseño, los puntuales, lineales y superficiales (texturas) con el cuarto grupo propuesto en este estudio, los volumétricos (Ching, 2005; Wong, 1986). Así se hacía necesario un nuevo experimento, el Experimento C, Memorización háptica, en el que se recogiese los efectos memorísticos de los usuarios en contacto con los símbolos estudiados.



Imagen 66: Imagen de un usuario realizando el experimento con una de las plantillas de las que constaba éste.

b. Experimento C, Memorización háptica. Test de discriminación táctil sobre leyenda de 8 símbolos

Objetivo del Experimento C, Memorización háptica. Determinar si los símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D en relación a aspectos de memorización háptica en un contexto no específico (Objetivo 2) (Véase ANEXO Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315).

Algunos aspectos del Experimento C, Memorización háptica

Una vez se han analizado los aspectos de reconocimiento y discriminación táctil, cabía terminar de responder a la Pregunta 2 de investigación con otro experimento que dé luz sobre el efecto causado con la inclusión de esta nueva categoría de símbolos, los volumétricos, sobre el proceso, ya no de reconocimiento táctil, sino de memorización háptica de la forma. En cualquier caso, cabe la posibilidad de que si bien, no se mejora el proceso de memorización de símbolos, haciéndolo éste, por ejemplo, más fácil, sí, al menos, se consiga que la integración de los símbolos volumétricos no genere mayores dificultades en la retención memorística del usuario. Hecho, este último, que confirmaría también que los símbolos táctiles volumétricos pueden llegar a extender el rango de símbolos discriminables, ya que pueden usarse sin sacrificar aspectos de eficiencia de uso, siendo similares a las categorías en relieve actuales. Aunque la Hipótesis 2 de este estudio, sobre la mejora de uso con el aprovechamiento de formas volumétricas en planos en relieve, sólo se vería parcialmente verificada, ya que el experimento no aborda una aplicación concreta sobre un plano táctil.

Por otro lado, este experimento trataba de reproducir una posible tarea rutinaria en el empleo de planos táctiles, la memorización de los símbolos táctiles mediante el uso de una leyenda anexa al plano. Así, se diseñó un experimento en el que el rol de la leyenda tuviese un papel esencial. Atendiendo a la literatura consultada, el máximo número recomendable de símbolos que se pueden emplear en un plano táctil es de 6 (Amick et al., 2002). El experimento propuesto, en este sentido, plantea una situación más adversa para el usuario que deberá memorizar hasta una secuencia de 8 símbolos táctiles. Este incremento se plantea así con el fin de agudizar los errores en las pruebas y recoger el efecto causado con la inclusión de los símbolos volumétricos (Imagen 67).

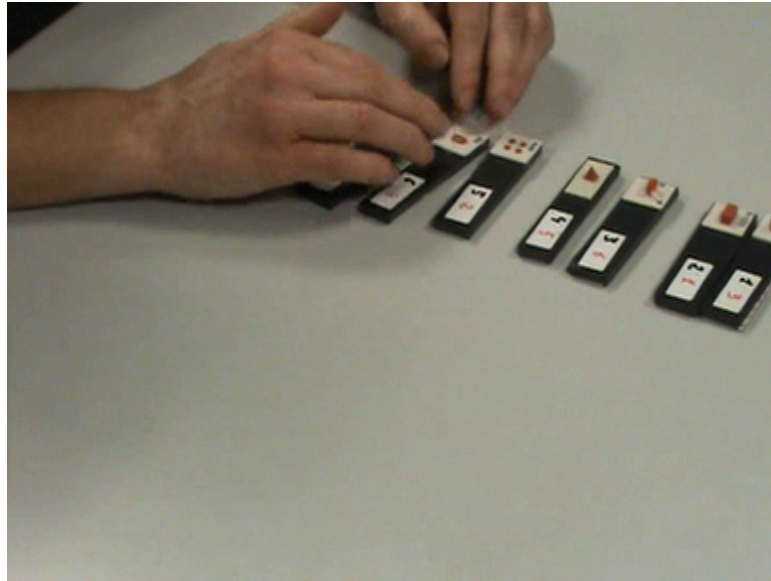


Imagen 67: Imagen de participante memorizando a partir del tacto el orden de determinados símbolos.

6.2.3. PREGUNTA 3 DE INVESTIGACIÓN

¿Pueden los símbolos en 3D mejorar el uso de los planos táctiles?

a. Experimento D, Plano táctil urbano. Test de discriminación táctil sobre contexto específico I

Objetivo del Experimento D, Plano táctil urbano. Determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos (Véase ANEXO Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento D, Plano táctil urbano en página 318).

Algunos aspectos del Experimento D, Plano táctil urbano

Las pruebas realizadas a los usuarios en el Experimento D, Plano táctil urbano tratan de dar respuesta a la Pregunta 3 de investigación y cumplir el objetivo de conocer si la inclusión de estos símbolos en 3D en un plano táctil mejora la eficiencia de uso de éste.

Este experimento aborda el uso aplicado de los símbolos táctiles volumétricos estudiados en experimentos anteriores. Es decir, ya no en un contexto inespecífico, como sería el caso del Experimento B, Discriminación táctil y C, Memoria háptica, en los que a los símbolos no se les asociaba un contenido a representar, ni un sitio específico en un plano, sino en un entorno real, como un espacio urbano en el que encajan diversas realidades propias de cualquier ciudad.

En el diseño del experimento se han abordado tareas sistemáticas en el uso de planos táctiles. Así, la localización de un símbolo en un plano táctil por parte de un usuario, después de recono-

cerlo y memorizarlo hápticamente en la leyenda, es un aspecto esencial. Por otro lado, el reconocer ese símbolo en más de una ocasión, contarlos, también puede ser representativo de una posible tarea a realizar cuando se está explorando un plano en relieve mediante el tacto. Se asume que si se mejora alguna de estas posibles tareas en el uso de un plano táctil se estará mejorando la usabilidad de éste. Por otro lado estas tareas son fácilmente medibles y cuantificables, hecho que reforzaría la veracidad y el rigor de las conclusiones.

En otro orden de cosas, este experimento contempla un aspecto importante y es que se comparan dos planos similares que representan la misma información, aunque se producen con técnicas de fabricación diferentes. Además, en el diseño de ambos planos se han seguido las recomendaciones de diseño de Edman (Edman, 1992) propias de los planos en relieve, sin embargo, uno de los planos, como se verá más adelante, el producido mediante impresión en 3D, posee características propias de una maqueta, a la vez que de un plano táctil sintético. Estos hechos posibilitan el análisis comparativo entre ambos sistemas de fabricación y también entre ambas concepciones de plano (Imagen 68).



Imagen 68: Imagen del Experimento D, Plano táctil urbano.

6.2.4. PREGUNTAS 3 Y 4 DE INVESTIGACIÓN

Pregunta 3: ¿Pueden los símbolos en 3D mejorar el uso de los planos táctiles?

Pregunta 4: En la selección de los símbolos táctiles para el uso en planos en relieve, ¿Es el factor “traducción directa de los aspectos visuales” un ítem determinante?

a. Experimento E, Plano táctil interior. Test de discriminación táctil sobre contexto específico II

El objetivo de este experimento es determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos; y, además, determinar cómo influye el factor “traducción directa” (de los aspectos visuales a los táctiles) en la comprensión y discriminación de símbolos táctiles (Véase ANEXO, Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento E, Plano táctil interior en página 320).

Algunos aspectos del Experimento E, Plano táctil interior

El Experimento E pretende corroborar, por un lado, la Pregunta 3 de investigación planteada ya en el Experimento D Plano táctil urbano, que aborda la posible mejora del uso de planos táctiles con la inclusión de símbolos volumétricos y, por otro lado, pretende aportar conocimiento a la adecuación o no del uso, en planos de relieve, de ciertas traducciones visuales desde el punto de vista del sentido del tacto (Pregunta 4 e Hipótesis 3).

Como en el caso del Experimento D, éste también integra el uso de símbolos táctiles dentro de un contexto específico. En este caso se utiliza un espacio interior de un lugar emblemático desde el punto de vista del patrimonio arquitectónico, la Casa Batlló de Gaudí (Barcelona).

Por otro lado, en el diseño del experimento se han incluido una serie de símbolos que podrían considerarse traducciones visuales directas, con el fin de analizar su comportamiento respecto a otros símbolos cuyo origen no derive de una traducción visual. Los símbolos insertados en el Plano B y que se consideran traducciones visuales son, el símbolo Ascensor representado mediante un cuadrado al que le falta un lado y en el que internamente cruzan dos diagonales; y el símbolo Escalera representado comúnmente por una serie de líneas paralelas.

Las tareas que se han abordado en este experimento son similares a las tareas tipo tratadas en el Experimento D, Plano táctil urbano: localizar y contar símbolos. Se asume que si se mejora alguna de estas posibles tareas en el uso de un plano táctil se estará mejorando la usabilidad de éste. Aunque, a diferencia del experimento anterior, éste analiza además, como ya se ha comentado anteriormente, la cuestión de la conveniencia o no de emplear símbolos que provengan de una traducción visual.

Por último, este experimento posee otra particularidad respecto al Experimento D, Plano táctil urbano y es que el plano táctil que incluye símbolos en formato volumétrico (Impresión en 3D), presenta un uso más laxo de las recomendaciones de diseño (Amick et al., 2002; Bentzen &

Marston, 2010; The Braille Authority of North America, 2011; Gardiner & Perkins, 2002; Lillo Jover, 1992; Schiff, 1982; Purdue Research Foundation, 2002; Rowell & Ungar, 2005; Tevelyan, 1986; Kwok, 2005), adaptando ciertas recomendaciones a la situación de un plano cuya concepción, en algunos aspectos, se acerca a la de una maqueta táctil.

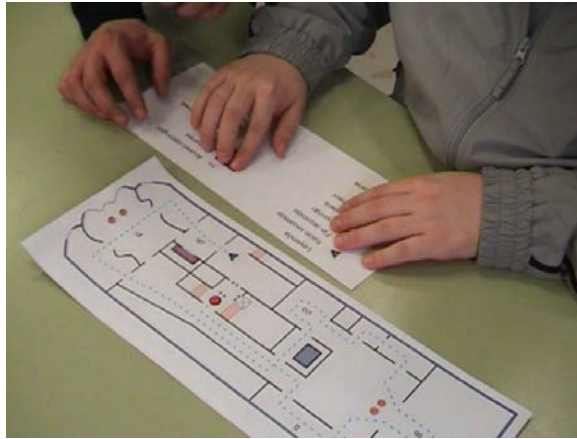


Imagen 69: Imagen del Experimento E, Plano táctil interior.

6.3. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

A continuación se describen en detalle los aspectos metodológicos más importantes de los distintos experimentos presentados y su relación con los objetivos, preguntas de investigación e hipótesis de este trabajo. Véase el apartado **PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN, HIPÓTESIS DE TRABAJO y OBJETIVOS DEL ESTUDIO** en página 101.

6.3.1. EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS. VALORACIÓN DEL INTERÉS DE LOS PRODUCTOS TÁCTILES

El estudio que se expone a continuación constó de dos partes caracterizadas por el uso de dos herramientas concretas de investigación: encuesta y mapas cognitivos. El contexto del experimento fue *La Bastida de les Alcusses* en Moixent (Valencia),

a. Primera parte. Encuesta

Muestra

La encuesta se realiza a un grupo de 10 usuarios, 5 deficientes visuales y 5 invidentes, 4 mujeres y 6 hombres. La edad media del grupo es de 44,3 (SD 17,2) años, con un rango de edad que va de los 25 a los 60 años.

En relación al grado de conocimiento de técnicas y estrategias de lectura háptica, 5 participantes leen código Braille y el resto no tiene ninguna experiencia previa con dispositivos táctiles.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

Material empleado y registro

Se ha realizado una encuesta breve sobre la configuración espacial del poblado después de que los participantes probaran 3 productos táctiles: un plano de conjunto de los restos arqueológicos (Imagen 70) y dos maquetas de detalle, una de estas maquetas representaba una casa tipo de la época y la otra presentaba la entrada (bastión) al recinto amurallado. La maqueta de conjunto contaba con una leyenda de símbolos en relieve, texto en relieve y texto descriptivo en Braille para representar los contenidos del poblado.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante toma de datos “in situ”. La información ha sido tratada mediante programas de procesamiento estadístico de datos.



Imagen 70: Imagen de una de las maquetas empleadas en el experimento (Autora de la fotografía: Marina Puyuelo)..

Procedimiento

Todos los participantes realizaron la visita guiada a la Bastida de Moixent. Ésta recoge fundamentalmente los contenidos del yacimiento arqueológico de época íbera, dentro de un recorrido cerrado en el que se podían contemplar y tocar, entre otras cosas, los dispositivos táctiles que contiene. La visita se acompañaba con una explicación verbal del guía que describía las características más importantes del yacimiento y el modo de vida de los íberos.

La encuesta se pasó tras realizar el recorrido visitable y consistía en un bloque de 3 preguntas de valoración sobre la utilidad de los dispositivos táctiles en entornos culturales con el fin de medir el grado de satisfacción de los participantes con los recursos táctiles. En estas tres primeras preguntas se empleó una escala de respuesta de 0 a 10. La encuesta contenía una cuarta pregunta abierta a observaciones.

Un grupo de 4 usuarios, 3 invidentes y 1 deficiente visual, realizó el recorrido de manera convencional, apreciando las maquetas por el orden natural de la visita: primero, observando la maqueta de conjunto, después iniciando el recorrido, y sobre éste contemplando las otras dos maquetas de detalle. Mientras, un grupo separado de voluntarios de 6 usuarios, 2 invidentes y 4 deficientes visuales, realizaba el recorrido sin tomar contacto con la primera maqueta de conjunto. De tal manera que realizaban el itinerario contemplando las maquetas detalle, como el grupo anterior, y sólo al finalizar el recorrido contemplaban la maqueta-plano de conjunto (Imagen 71).

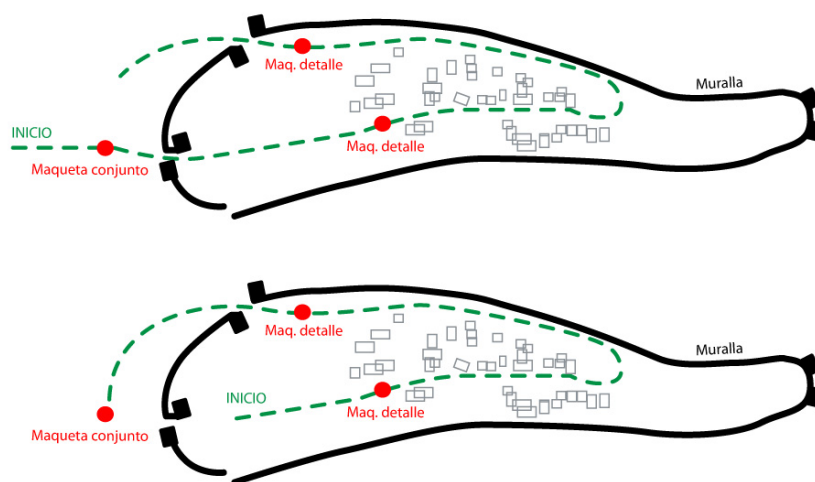


Imagen 71: Esquemas con las dos modalidades de la visita, la inferior se inicia sin haber tenido contacto con la maqueta-plano del conjunto.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

A continuación se expone el contenido de la encuesta:

1. ¿Considera las maquetas-plano unas herramientas útiles para mejorar la orientación y la comprensión del entorno?
 - 10 (muy útiles) - 0 (Nada útiles).
2. ¿Considera los recursos táctiles unos productos útiles para mejorar la comprensión de la forma de vida, historia, etc. (contenidos) de los íberos?
 - 10 (muy útiles) - 0 (Nada útiles).
3. ¿Qué maquetas valora más? ¿las de la casa y la puerta (detalle)? o ¿las que ofrecen información global relativa a la orientación sobre el conjunto en general?
 - Casa y Puerta (concretos pequeños, detalle).
 - Conjunto general.
 - Igual.
4. Observaciones, comentarios.

b. Segunda Parte. Mapas Cognitivos

Muestra

Ha participado realizando los mapas cognitivos el grupo de 6 voluntarios: 4 deficientes visuales y 2 invidentes, 3 mujeres y 3 hombres. La edad media de los participantes es de 42,17 (SD 18,5), con un rango de edad que va de los 25 a los 60 años. De los 6 usuarios, 4 leen Braille y tienen un poco de experiencia con los dispositivos táctiles y 2 de ellos no poseen ninguna experiencia en este sentido.

Material empleado y registro

Se han empleado los recursos propios para realizar una experiencia de estas características, es decir, material para la realización de los dibujos tipo croquis (mapas cognitivos) y, evidentemente, los productos táctiles realizados en bronce.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante toma de datos “in situ” y videogración digital. La información ha sido tratada mediante hojas de cálculo.

Tareas y procedimiento

En este experimento, el grupo separado de voluntarios de la experiencia anterior (encuesta), es decir, aquel grupo que realizó el recorrido sin tomar contacto con la primera maqueta de conjunto, sino que invirtió el orden, viendo este recurso al final, fue el que realizó los mapas cognitivos (Imagen 71).

En primer lugar, estos participantes, una vez finalizado el recorrido y sin haber tomado contacto con la maqueta de conjunto (inicial), sino únicamente con las maquetas de detalle y la descripción verbal del guía, tuvo que realizar un mapa cognitivo del lugar, Mapa A. A este grupo se les invitó a plasmar en un dibujo todos los ítems que recordaban de la visita, incluyendo, por ejemplo, el recorrido y los hitos de éste, así como el orden y la posición de éstos.

En segundo lugar, una vez realizado el primer dibujo, los participantes tomaron contacto con la maqueta táctil de conjunto. Después de haber podido tocar este dispositivo, realizaron un nuevo dibujo, Mapa B. Con estos dos mapas cognitivos, uno antes de tener contacto con la maqueta global y el otro después, se pretende analizar y comparar las diferencias entre ambas situaciones.

Los ítems que se representaron en total fueron 14: Entrada, Poblado, Casa Principal, Recorrido, Calle Principal, Perímetro de la muralla, Salida de la visita, Plaza, Almacenes-Industria, Arboleda, Maquetas táctiles, Mirador al valle I y II y, por último, la Zona no visitable (Imagen 72).

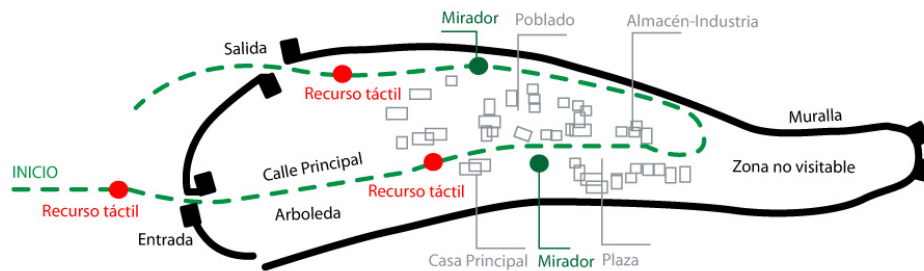


Imagen 72: Plano de planta con los ítems destacables del conjunto de La Bastida de Moixent.

6.3.2. EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL. TEST DE DISCRIMINACIÓN TÁCTIL SOBRE PLANTILLAS DESCONTEXTUALIZADAS

A continuación se detallan los hitos de este trabajo que se relacionan con este experimento, el cual se realizó en entorno de laboratorio (Véase ANEXOS Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300, Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301 y Descripción pormenorizada de los tests en página 308).

a. Muestra

La prueba experimental que a continuación se expone se ha realizado a un grupo de usuarios formado por 53 personas, 31 hombres y 22 mujeres. La edad media de los participantes es de 44,08 (SD 13,95) años, con un rango de edad que va desde los 20 años hasta los 80.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

La muestra contempla tres tipos diferentes de participantes: 26 invidentes, 18 videntes (*blindfolded*) y 9 deficientes visuales.

En relación a su experiencia táctil, es decir, a su grado de conocimiento de técnicas o estrategias de lectura háptica, la muestra contempla 13 usuarios expertos, 12 con un poco de experiencia y 28 participantes sin ningún tipo de experiencia con los dispositivos táctiles.

b. Material empleado y registro

En este experimento se han empleado 8 plantillas-test con una distribución de símbolos táctiles en forma de matriz de 4 columnas por 5 filas (*Imagen 73*), más una plantilla borrador para introducir, previamente, en las tareas a cada participante. En cada plantilla se mostraban diferentes tipos de símbolos entre los que se encontraban los símbolos a estudiar. Éstos últimos se distribuyen aleatoriamente apareciendo siempre una vez por fila en las 4 primeras filas, de modo que siempre había 4 símbolos en las primeras 4 filas. En la última, y quinta fila, podían aparecer aleatoriamente o no más cantidad de símbolos a estudiar, siguiendo un método similar al que ya emplearon Sandra Jehoel, Simon Ungar, Don McCallum y Jonathan Rowell para la evaluación de sustratos en planos táctiles (Jehoel et al., 2005). De esta manera la quinta fila servía para que los participantes no memorizaran la cantidad de símbolos por test: 4. Así, para el estudio, sólo se contabilizaron los resultados en las cuatro primeras filas. A los símbolos evaluados en el estudio, les denominaremos, de ahora en adelante, símbolos “target”.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante videgrabación digital. La información ha sido tratada mediante programas de procesamiento estadístico de datos.



Imagen 73: Ejemplo de plantillas empleadas en el estudio

c. Símbolos seleccionados

Se evaluó y estudió la lectura/reconocimiento de 4 símbolos “target”, dos de carácter plano y dos con carácter volumétrico, denominados de ahora en adelante: (O (2D), V (2D), Pirámide (3D), Anillo (3D) (Imagen 74). Los símbolos planos seleccionados fueron dos de los símbolos más comunes en el uso de planos táctiles, la circunferencia (“O”) y la “V” o cabeza de flecha (Mc-Callum et al., 2006; Renner, 1993; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Goodrick, 1987; Jehoel et al., 2005; Lockwood, 1995; Nolan & Morris, 1971; NCA, 1985). Los símbolos volumétricos se han seleccionado en base a estudios previos (Gual, Lloveras, Puyuelo, & Romero, 2010b; Gual et al., 2011a; Gual et al., 2012). Véase en ANEXO, Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.

Se han empleado para acompañar a los símbolos target en las plantillas-tests otros símbolos con diferentes características, distribuidos de manera aleatoria, como por ejemplo: Elipses, Cuadrados, "U", esferas, conos, cubos, cilindros, etc (Imagen 75).

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

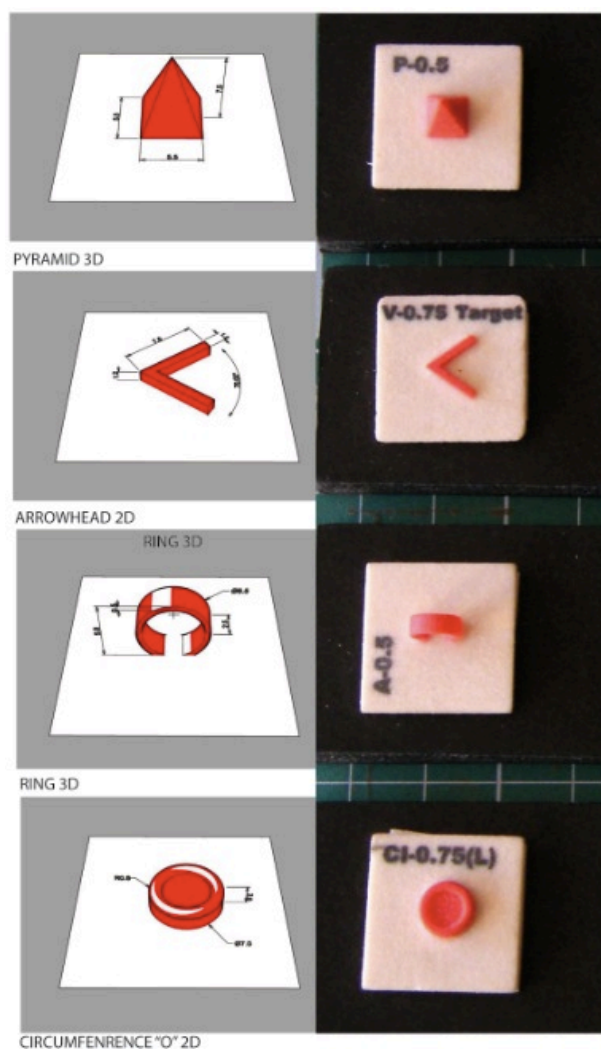


Imagen 74: Imagen de los 4 símbolos seleccionados para su evaluación.

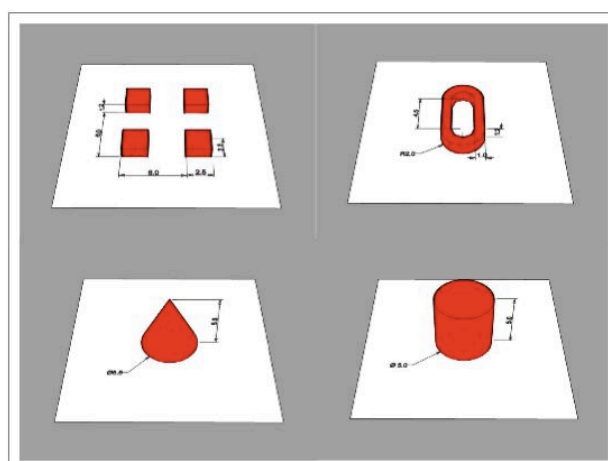


Imagen 75: Imagen de algunos de los símbolos que han acompañado a los target en las plantillas.

d. Tarea y procedimiento

En este experimento, se han mostrado aleatoriamente las plantillas con los diferentes tests de manera secuencial a cada participante hasta completar los 8 plantillas-tests. La tarea a realizar consistía en reconocer un símbolo "target" al tacto, memorizarlo y posteriormente localizarlo en su correspondiente plantilla-test. Los participantes debían contar la cantidad de símbolos "target" que reconocían con el tacto en la distribución de las plantillas-tests. Éstos debían percibir, con los dedos, los símbolos fila a fila, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, tal y como si estuviesen leyendo en código Braille. El investigador, antes de empezar el test con las 8 plantillas-tests, exponía un ejemplo borrador para introducir en las tareas a cada participante. Después de aprender la tarea con este test introductorio, se la pasaba de manera individual a cada participante todo el test completo con las 8 plantillas-tests. Los participantes no tuvieron contacto visual ni táctil con el material empleado antes de iniciar la prueba para evitar así posibles sesgos en los resultados.

Variables a medir: Errores cometidos en el reconocimiento táctil.

Tipos de errores de reconocimiento táctil:

- De lectura, no se detectan, a pesar de que se han llegado a tocar.
- Falsos aciertos, se confunden con otros, bien por su similitud formal al tacto o por otras causas.

Valores que puede tomar la variable:

- *Errores de lectura:* 0, No hay errores; 1, Si hay 1 error, 2 si hay 2 errores, etc. En cada test de discriminación táctil pueden aparecer hasta un máximo de 4 errores, uno por fila.
- *Falsos aciertos:* 0, si no hay falsos aciertos; 1 si hay 1 error, 2, si hay 2 errores, 3, si hay 3 errores y así sucesivamente hasta un máximo de 12 errores, ya que en cada test de discriminación táctil pueden aparecer hasta 12 símbolos distintos, (4 filas x 4 columnas)- (4 de los símbolos que se deben buscar).

Observaciones: se pretende comparar símbolos 2D (V y O) y 3D (Anillo y Pirámide) empleando 8 plantillas-tests en diferentes condiciones: mezcladas (con símbolos en 2D+3D) con no mezclados (sólo símbolos en 2D o sólo en 3D)(Tablas 5 y 3). Véase ANEXOS en página 295. Se pretende analizar los símbolos de manera individual atendiendo a su porcentaje general de aciertos en el reconocimiento táctil. Por último, se pretende observar si existen diferencias de percepción entre distintos perfiles de usuarios, invidentes, videntes, expertos... cuando emplean uno u

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

otro tipo de símbolos táctiles.

TEST	SÍMBOLO TARGET	TIPO DE SÍMBOLOS TARGET
TEST INTRODUCTORIO		
TEST 1	Pirámide	3D
TEST 2	V	2D
TEST 3	Anillo	3D
TEST 4	O	2D
TEST 5	Anillo	3D
TEST 6	Pirámide	3D
TEST 7	V	2D
TEST 8	O	2D

Tabla 5: Resumen de las características de las plantillas-tests.

TEST	SÍMBOLO TARGET	TEST	SÍMBOLO TARGET
TEST 2	V mezclada	TEST 7	V entre símbolos en 2D
TEST 1	Pirámide mezclada	TEST 6	Pirámide entre símbolos en 3D
TEST 5	Anillo mezclado	TEST 3	Anillo entre símbolos en 3D
TEST 8	O mezclada	TEST 4	O entre símbolos en 2D

Tabla 6: Tabla. Tests mezclados vs. no mezclados.

6.3.3. EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA. TEST DE DISCRIMINACIÓN TÁCTIL SOBRE LEYENDA DE 8 SÍMBOLOS

A continuación se detallan los hitos de este trabajo que se relacionan con este experimento, el cual se realizó en entorno de laboratorio.

a. Muestra

Han realizado este experimento un grupo de 20 participantes: 10 invidentes, 4 deficientes visuales y 6 videntes, 7 hombres y 13 mujeres. La edad media de los participantes es de 45,15 (SD16,64), con un rango de edad que va de los 25 a los 74 años.

En relación al grado de conocimiento previo de estrategias de lectura háptica, han participado en este experimento 6 usuarios expertos, 4 con un poco de experiencia y 10 sin ningún tipo de experiencia en dispositivos táctiles.

b. Material empleado y registro

En este experimento se han empleado dos plantillas de símbolos a modo de leyendas (Imagen 76). La Leyenda 1 con 8 símbolos táctiles usados comúnmente en planos reales. Véase ANEXOS en página 295. La leyenda 2 con dos grupos de 4 símbolos en 2D (se incluye una textura) y 4 volumétricos (en 3D). Los símbolos no se relacionan con ningún significado en especial, sino con un orden de números que van del 1 al 8, 1 el primero de la parte superior y 8 el último de la parte inferior.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante videograbación digital. La información ha sido tratado mediante programas de procesamiento estadístico de datos.

Se evaluaba la memorización de simbología táctil en dos situaciones diferentes. La primera, empleando una leyenda configurada sólo con símbolos de carácter plano en relieve, y la segunda con una leyenda que incluía un rango de 4 símbolos de carácter volumétrico. En esta segunda leyenda los símbolos se agruparon según su tipología morfológica: los 4 primeros símbolos en 3D y los 4 últimos símbolos en relieve plano.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL



Imagen 76: Imagen de las plantillas empleadas en el experimento.

c. Tareas y procedimiento

La tarea planteada es una tarea común en el uso de planos táctiles. Se trata de la memorización de los símbolos de la leyenda de un plano.

Se pasaban al participante, de manera individual y uno a uno, las plantillas con las diferentes leyendas, empezando de manera aleatoria por cualquiera de las dos para evitar que el sesgo del orden pudiera inferir en el experimento. Cada participante debía primero, durante un periodo máximo de 3 minutos, memorizar el orden en el que aparecían los símbolos en la leyenda. Una vez memorizados, el investigador le proporcionaba de nuevo los símbolos que había tratado de memorizar y se los exponía de manera aleatoria, uno a uno, hasta completar los 8 símbolos de los que constaba la leyenda. Cuando el participante tocaba por segunda vez los símbolos proporcionados por el investigador, éste debía responder con el número u orden que ocupaba el correspondiente símbolo en la leyenda ordenada. Por último, cabe mencionar que el investigador proporcionaba unas leves instrucciones para realizar la tarea. Principalmente, que en la memorización de la Leyenda 2 se sugería la posibilidad de emplear la estrategia de memorizar por grupos diferenciados los símbolos de la leyenda, gracias a que estaba ordenada según el criterio de exponer los 4 símbolos volumétricos primero y el resto en relieve de altura no tan contrastado después.

Variables a medir: Errores cometidos.

6.3.4. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. TEST DE DISCRIMINACIÓN TÁCTIL SOBRE CONTEXTO ESPECÍFICO

A continuación se describen los aspectos metodológicos más importantes del Experimento D, el cual se realizó en entorno de laboratorio, aunque se trata de un caso real al que se le aplica la

simbología 3D propuesta. El contenido que se representa en el material empleado es el entorno y acceso al *Museu Marítim* de Barcelona.

a. Muestra

Este experimento se realizó a dos grupos de participantes independientes. La muestra estaba formada por 56 personas, 28 por grupo (Tabla 7). La edad media total de los participantes era de 43,82 (SD 13,93) años, con un rango de edades que iba de los 20 a los 80 años. El Grupo 1 tenía una edad media de 43,32 (SD 13,96) años, con un rango de edades que iba de los 21 a los 74. Mientras, el Grupo 2 tenía una edad media de 44,32 (SD 14,13) años, con un rango de edades que iba de los 20 a los 80. Para evitar posibles sesgos comparativos en el experimento se procuró mantener dos grupos independientes pero con una distribución similar en cuanto a los factores relativos a la edad, género, tipo de usuario (Tabla 8) y experiencia previa (Tabla 9).

GRUPO	MASCULINO	FEMENINO	TOTAL
1	18	10	28
2 (3D)	17	11	28

Tabla 7: Tabla de segregación de la muestra por género.

GRUPO	INVIDENTE	DEFICIENTE VISUAL	VIDENTE	TOTAL
1	15	6	7	28
2 (3D)	15	4	9	28

Tabla 8: Tabla de segregación de la muestra por tipología de usuario.

GRUPO	INEXPERTO	LEE BRAILLE	EXPERTO	TOTAL
1	11	11	6	28
2 (3D)	15	5	8	28

Tabla 9: Tabla de segregación de la muestra por experiencia del usuario con el ámbito de lectura táctil.

b. Material empleado y registro

Se han utilizado 2 planos táctiles, uno para cada grupo. El primero, Plano A, producido en papel microencapsulado (Fúser) monocromo. El segundo, Plano B, era la misma versión pero había sido producido mediante Impresión en 3D policromada. El Plano B incluía símbolos de carácter

volumétrico (3D).

En los dos planos se representaba la misma zona acotada de la ciudad de Barcelona (Escala 1:1250), ambos tenían el mismo tamaño (219 x 190 x 20 mm), la misma distribución de los elementos y la misma cantidad de información. Se representaba por ejemplo el *Museu Marítim*, las paradas de metro próximas a éste, el Quiosco de prensa y la cabina de teléfonos, así como calles tan populares como Les Rambles. Ambos planos constaban de una leyenda con 6 símbolos en los que se expresan los siguientes contenidos:

- Boca de Metro
- Cabina telefónica
- Quiosco de prensa
- Ascensor urbano
- Paso de peatón
- Zona ajardinada.

Plano A

Estaba configurado con los típicos elementos de diseño bidimensional, puntos, líneas y áreas (texturas), además de texto en Braille para designar las calles (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982). Para el diseño de este plano se siguieron las recomendaciones del manual de Edman (Edman, 1992). Las líneas en relieve se empleaban con distinto grueso discriminable al tacto para separar los límites entre acera-tránsito de vehículos o acera-edificaciones (Imagen 77). El área verde o zona ajardinada se representaba mediante una textura de líneas verticales y los símbolos puntuales se habían seleccionado siguiendo experiencias previas de voces autorizadas (Reiner, 1993; Edman, 1992).

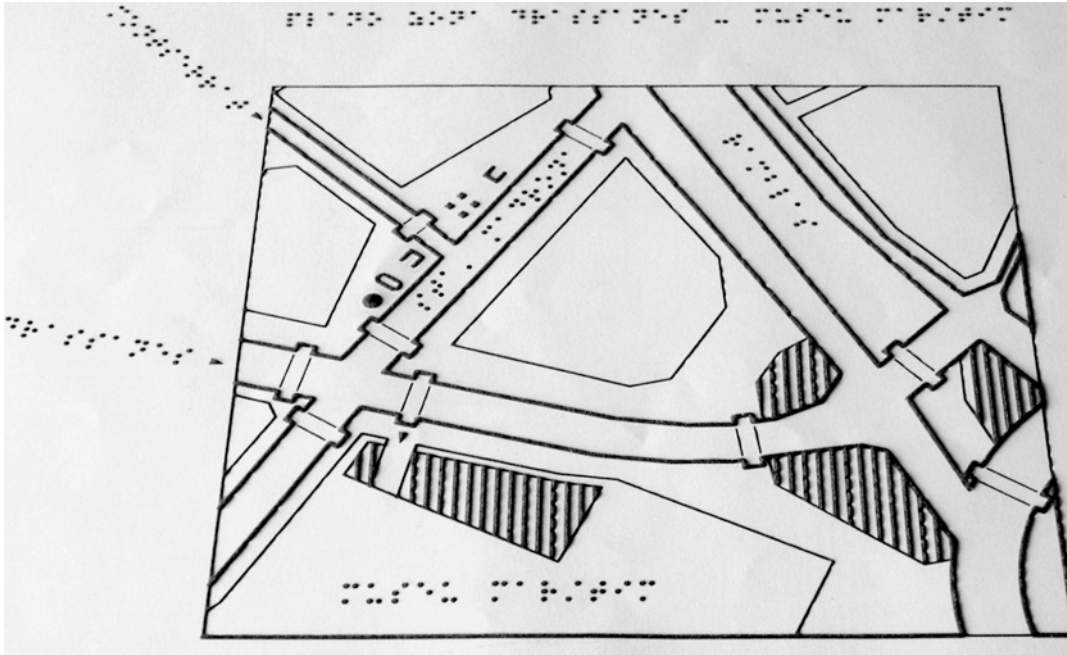


Imagen 77: Imagen del Plano A microencapsulado empleado en el experimento.

Plano B

El Plano B tenía características formales propias de una maqueta, existían diferentes niveles que separaban la acera del vial de vehículos y los vados se representaban en pendiente, pero además también se expresaban elementos propios de planos táctiles, como las líneas que separaban los edificios de la acera, las dos líneas paralelas que representaban los pasos de peatones o la textura empleada para simbolizar la zona ajardinada. El plano constaba de ciertos ítems informativos en la leyenda representados mediante símbolos volumétricos: la Cabina telefónica con un cilindro, el Quiosco de prensa con una pirámide y el Ascensor urbano con un cono (Imagen 78). Para representar las bocas del metro, el Paso de Peatones y la Zona ajardinada se emplearon símbolos planos, manteniendo así estos ítems con características muy similares a la versión del Plano A. En la siguiente imagen (Imagen 79) se puede apreciar alguno de los símbolos empleados en el Plano B. El primero por la izquierda representa en este experimento la boca de Metro. El resto son la Cabina telefónica, el Quiosco de prensa y el Ascensor urbano respectivamente.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL



Imagen 78: Plano producido mediante Impresión en 3D y detalle de su leyenda.

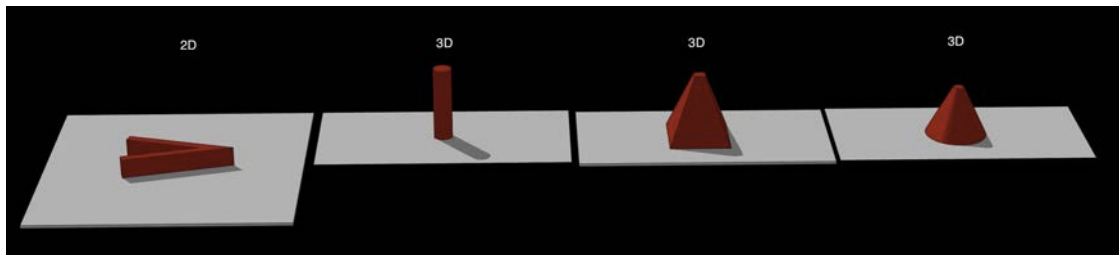


Imagen 79: Imagen virtual de algunos símbolos táctiles del Plano B.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante videgrabación digital. La información ha sido tratada mediante programas de procesamiento estadístico de datos (Véase ANEXOS en página 295).

c. Tareas y procedimiento

En este experimento se han empleado dos tipos de tareas: contar y localizar símbolos en ambos planos. Los participantes debían realizar la tareas en su plano correspondiente: Grupo 1 en Plano A y Grupo 2 en Plano B.

Los símbolos target evaluados poseían la misma posición y representaban los mismos contenidos en ambos planos. Su diferencia fundamental radicaba en su carácter bidimensional (2D-relieve plano) o, por el contrario tridimensional (3D-volumétricos)(Tabla 10).

SÍMBOLO TARGET	MAPA A	MAPA B
Boca de Metro	2D	2D
Cabina telefónica	2D	3D
Quiosco de prensa	2D	3D
Ascensor urbano	2D	3D

Tabla 10: Tabla resumen con los símbolos y sus características según el tipo de plano.

Los 4 símbolos target empleados en el Plano A, Grupo 1, han sido los que se muestran ampliados en la siguiente imagen (Imagen 80). Estos símbolos fueron seleccionados siguiendo experiencias previas de voces autorizadas (Rener 1993)(Edman 1992).

Los 4 símbolos target empleados en el Plano B, Grupo 2, han sido los que se muestran ampliados en la siguiente imagen (Imagen 81). Estos símbolos han sido diseñados y propuestos por el autor (Gual et al., 2011a, 2012)

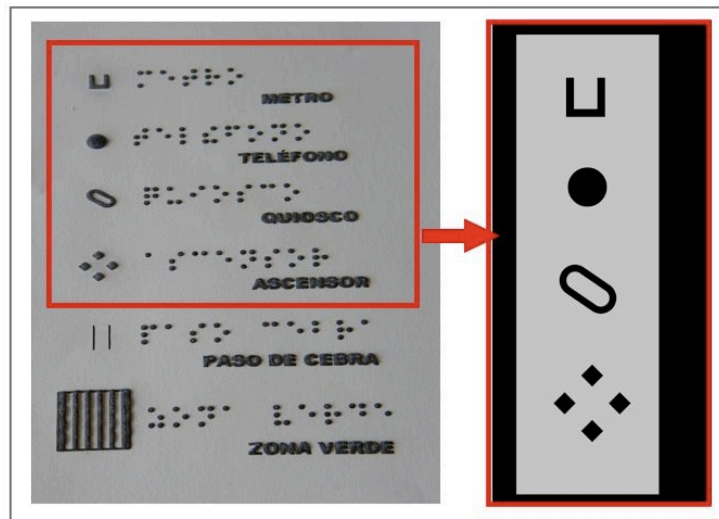


Imagen 80: Leyenda del Plano A con detalle de 4 los símbolos evaluados.

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

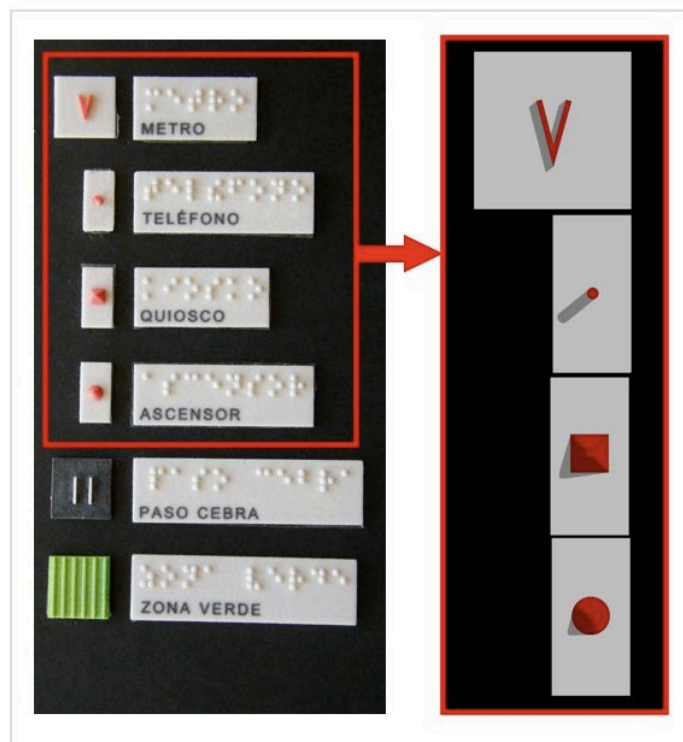


Imagen 81: Leyenda del Plano B con detalle ampliado de los símbolos evaluados.

La relación y contenidos de las tareas se muestran en la [Tabla 11](#), y a continuación se describen:

ÍTEMS	TAREAS EN AMBOS GRUPOS
Tarea 1	Contar la cantidad de símbolos Boca de Metro (2 unidades)
Tarea 2	Localizar el símbolo Cabina telefónica (1 unidad)
Tarea 3	Localizar el símbolo Quiosco de prensa (1 unidad)
Tarea 4	Localizar el símbolo Ascensor urbano (1 unidad)

Tabla 11: Tabla resumen de las tareas que se realizan en ambos planos.

A continuación se describe con más detalle los contenidos de las tareas y las particularidades de la variable a medir en este experimento.

Tarea 1: contar la cantidad de símbolos “Boca de metro” (2D) en ambos planos, después de reconocerlo y memorizarlo en la leyenda. Para el Grupo 1 se empleaba el plano Fúser (Plano A) y para Grupo 2 el plano producido mediante Impresión en 3D (Plano B).

Variable a medir: errores de lectura y localización

Tipos de errores: Falsos aciertos y errores de localización.

Valores que puede tomar la variable:

- Errores de localización: sólo hay 2 símbolos "Boca de metro" distribuidos sobre los planos.
 - 0. No hay errores, si se encuentran los dos.
 - 1. 1 error, si sólo se encuentra 1 símbolo.
 - 2. 2 errores, si no se encuentra ninguno de los 2 símbolos.
- Falsos aciertos (0, 1, 2...).

Observaciones: Se trataba de comparar si existe similitud entre la cantidad errores de búsqueda del símbolo "boca de metro" en ambos planos (grupos). El símbolo "Boca de metro" tenía carácter 2D en los dos formatos (Fúser e Impresión en 3D).

Tarea 2: localizar el símbolo "Cabina telefónica" en ambos planos, después de reconocerlo y memorizarlo en la leyenda. Para Grupo 1 se emplea el plano A y para el Grupo 2 la Impresión en 3D.

Variable a medir: tiempo de localización en segundos y errores cometidos.

Tipos de errores: Falsos aciertos y errores de localización.

Valores que puede tomar la variable:

- 0. No hay errores, se ha encontrado.
- 1. Hay un error, no se ha encontrado (error de localización) o bien se ha confundido (Falso acierto).

Tarea 3: localizar el símbolo "Quiosco" en ambos planos, después de reconocerlo y memorizarlo en la leyenda. Para Grupo 1 se emplea el plano Fúser y para Grupo 2 la Impresión en 3D. El resto igual que en la Tarea 2.

Tarea 4: localizar el símbolo "Ascensor" en ambos planos, después de reconocerlo y memorizarlo en la leyenda. Para Grupo 1 se emplea el plano Fúser y para Grupo 2 la Impresión en 3D. El resto igual que en las Tareas 2 y 3.

6.3.5. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TEST DE DISCRIMINACIÓN TÁCTIL SOBRE CONTEXTO ESPECÍFICO II

A continuación se describen los aspectos metodológicos más importantes del Experimento E, el cual se realizó en entorno de laboratorio. El contenido que representa el material empleado en es el interior de la visita a *La Casa Batlló*.

Este experimento ha constado de un parte fundamentalmente experimental, aunque también se ha hecho uso de la observación directa, aprovechando el registro en vídeo de las distintas pruebas. En la sección de resultados y análisis de datos se tendrá en cuenta este enfoque cualitativo de investigación para extraer algunas conclusiones.

a. Muestra

La prueba experimental se ha realizado a dos grupos de participantes independientes: Grupo1 (3D) y Grupo 2 (2D). La muestra está formada por 46 personas, 23 por grupo. La edad media total de los participantes es de 41,39 (SD 12,46) años, con un rango de de edad que va de los 20 a los 63 años. El Grupo 1 tiene una edad media de 41,74 (SD 13, 45) años, con un rango de edades que va de los 21 a los 61. Por su parte, el Grupo 2 tiene una media de edad de 41,04 (SD 11,69) años y con un rango de edades que va de los 20 a los 63 (Tabla 12). La segregación de la muestra se realiza por género, tipología de usuario y experiencia con la lectura táctil del participante. Para evitar sesgos comparativos se ha procurado mantener dos grupos distintos pero con una distribución similar en cuanto a los factores relativos a la edad, género, tipología de usuario (Tabla 13) y experiencia previa (Tabla 14).

			GÉNERO		TOTAL
			Masculino	Femenino	
GRUPO	1 (3D)	N	14	9	23
	2 (2D)	N	15	8	23
Total		N	29	17	46

Tabla 12: Tabla de segregación de la muestra por género.

			TIPO DE DEFICIENCIA			TOTAL
			Invidente	Deficiente Visual	Vidente	
GRUPO	1	N	13	3	7	23
	2	N	11	3	9	23
Total		N	24	6	16	46

Tabla 13: Tabla de segregación de la muestra por tipología de usuario.

			EXPERIENCIA TÁCTIL			TOTAL
			Usuario inexperto	Conoce Braille	Usuario experto	
GRUPO	1	N	11	7	5	23
	2	N	12	4	7	23
Total		N	23	11	12	46

Tabla 14: Tabla de segregación de la muestra por experiencia del usuario con el ámbito de lectura táctil.

b. Material empleado y registro

En este experimento se han empleado 2 planos táctiles, uno para cada grupo. El primero, el Plano A producido mediante Impresión en 3D policromada. El segundo, el Plano B, es la misma versión pero realizado mediante termoconformado y con acabado policromado. El Plano A incluye símbolos de carácter volumétrico.

En los dos planos se representaba el interior de un edificio, en este caso, la Planta Noble de la Casa Batlló, obra de Gaudí catalogada como Patrimonio Mundial (UNESCO, 2004) y situada en Barcelona (Escala 1:125). Los dos planos tenían el mismo tamaño de base (450 x 140 mm), la misma distribución de los elementos y la misma cantidad de información. Se representaban por ejemplo las escaleras de acceso y salida a la exposición, las distintas dependencias, el inicio y el fin del recorrido de la visita, el propio recorrido y accesos restringidos, entre otros. Ambos planos empleaban texto en macrotipo contrastado para el uso por parte de usuarios con baja visión combinado con Braille para usuarios invidentes.

El registro de la experiencia se ha llevado a cabo mediante videgrabación digital. La información ha sido procesada mediante programas de tratamiento estadístico de datos.

Los dos planos constaban de una leyenda que exponía entre 9 y 10 símbolos (9 en el Plano A)

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

(Imagen 82) porque la ventana se representa de modo realista a diferencia del Plano B (Imagen 83) cuya representación era una abstracción, más 5 etiquetas en ambos. Los contenidos que mostraban, y que se correspondían con los símbolos, fueron los siguientes:

- Inicio de recorrido.
- Fin del recorrido.
- Recorrido.
- Escalera.
- Ascensor.
- Pilar.
- Ventana (excepto en el Plano A).
- Acceso restringido.
- Chimenea.
- Zona táctil.

Las etiquetas contenían Braille y representan los siguientes ítems:

- Sala de la Chimenea.
- Sala Principal.
- Sala de la Costura.
- Terraza.
- Tienda.



Imagen 82: Leyenda del Plano A

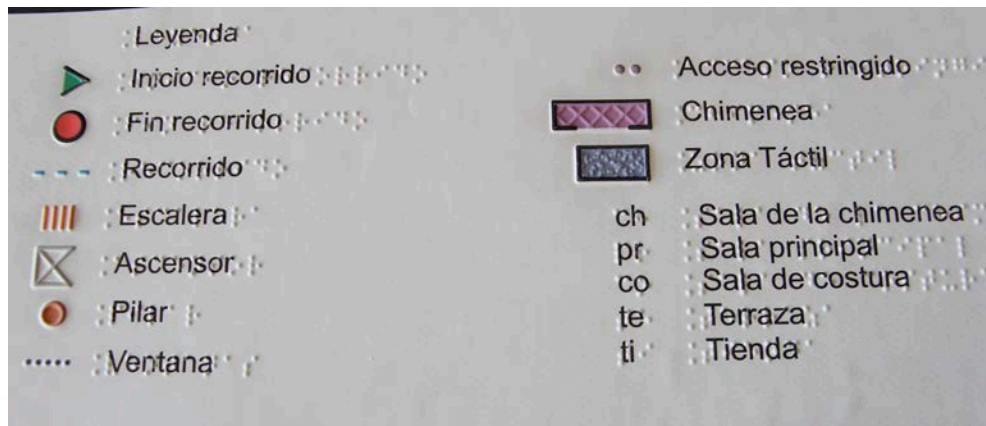


Imagen 83: Leyenda del Plano B

Descripción del Plano A

Tenía algunas características formales propias de una maqueta, como por ejemplo diferentes niveles de altura, y la representación en detalle de la fachada en su cara frontal (Imagen 84). Por otro lado, también se empleó en su diseño elementos de diseño bidimensional en relieve, puntos líneas y áreas-texturas (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982). Las líneas en relieve se emplearon con distintos groesos, alturas y sección para diferenciar el perímetro exterior y las divisiones interiores de la planta del edificio mostrada. Además se empleaban líneas discontinuas (por puntos) a una altura inferior para remarcar el recorrido. En el Plano A además se utilizó un elemento tipo área: es decir, una zona con textura que representaba la Zona Táctil, se trata de un área de la exposición que contiene maquetas y planos táctiles para personas con discapacidad visual. Los símbolos puntuales, de carácter sólido-volumétrico, empleados en el plano fueron seleccionados en base a experiencias anteriores con simbología tridimensional (Gual et al., 2012; Gual et al., 2011a).

Para el diseño de este plano, se siguieron principalmente las recomendaciones de Edman (Edman, 1992), aunque en algunos casos las soluciones de diseño adoptadas se adaptaron a las particularidades del empleo de símbolos volumétricos en contextos específicos, por ejemplo, dejando un espacio mayor entre símbolos para mejorar su acceso con las yemas de los dedos.

Como se ha comentado, algunos de los símbolos empleados en la leyenda y en el plano son cuerpos sólidos (3D). El Inicio del recorrido se representaba con una pirámide; la Escalera con tres cuerpos paralelos de base rectangular que imitaban la subida de los escalones; el Ascensor con un cilindro con un corte inclinado en su cara superior; el Pilar se representa con un cilindro de sección fina; los Accesos restringidos con un anillo, y la Chimenea con un prisma sólido de base

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

rectangular. El resto de símbolos y etiquetas, Final del recorrido, Recorrido y Zona Táctil, se representan con formas planas, similares a las del Plano B. Véase ANEXOS en página 295.

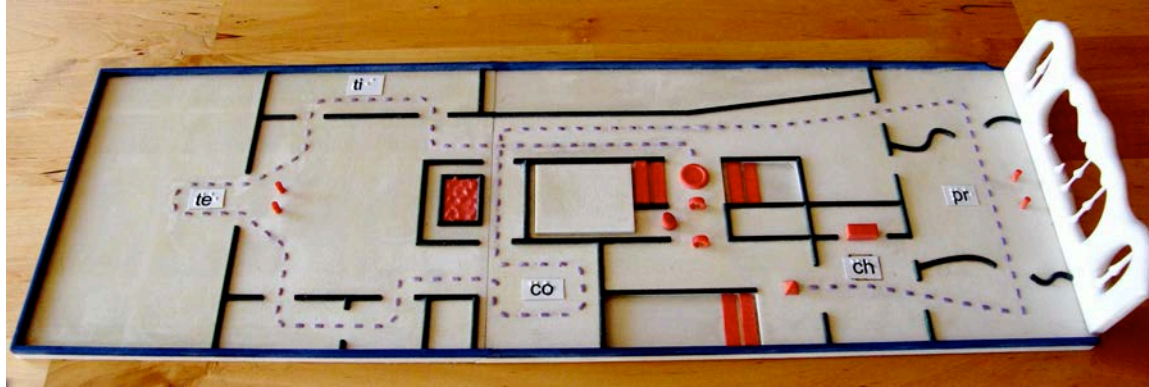


Imagen 84: Imagen del Plano táctil A.

Descripción del Plano B

El plano se componía a partir de elementos de diseño bidimensional en relieve (Imagen 85), puntos, líneas y áreas (texturas), además de texto en Braille para designar con etiquetas ciertos ítems informativos de la visita (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982). Las líneas en relieve se empleaban con distintos groesos, alturas y secciones para diferenciar el perímetro exterior y las divisiones interiores de la planta del edificio mostrada. Además se empleaban líneas discontinuas a una altura inferior para remarcar el recorrido y una línea de puntos para representar las ventanas.

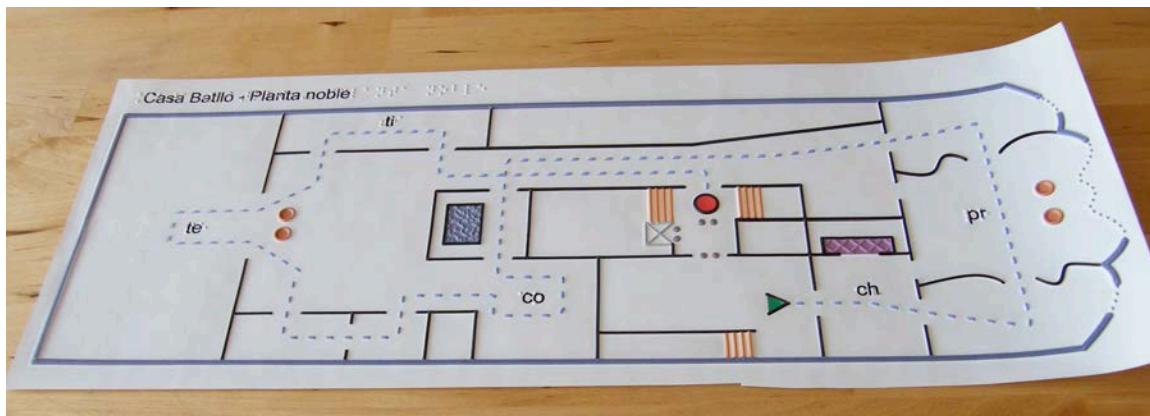


Imagen 85: Imagen del Plano táctil B.

En este plano se utilizaba además un elemento del tipo área (textura) para representar la Zona táctil. Los símbolos seleccionados, de carácter plano, fueron símbolos convencionales, la mayoría de ellos avalados por el empleo en la literatura (Lockwood, 1995; McCallum et al., 2006; Renner, 1993; Goodrick, 1987) y en compañías de producción de gráficos tangibles como Touch

Graphics Inc. Véase ANEXOS en página 295. Se siguieron las recomendaciones de Edman para su diseño (Edman, 1992).

En el diseño del Plano B se incorporaron tres símbolos que pueden considerarse traducciones directas de aspectos visuales que normalmente se emplean en el diseño de planos táctiles. Se trataba del símbolo Escalera que se representaba mediante una serie de cuatro líneas paralelas; del símbolo Ascensor que se representaba mediante un cuadrado con dos diagonales cruzando sus vértices; y del símbolo Inicio el recorrido que se representa con una cabeza de flecha (forma de “V” tumbada). Estas convenciones gráficas se emplean comúnmente para representar estos símbolos en los dibujos técnicos de representación en planta, normalmente dentro del ámbito de la edificación y la construcción y en este caso son traducidas al relieve por una simple elevación en altura de sus trazos gráficos.

Plano termoconformado e Impresión en 3D. Planos A y B.

Los etiquetas no cambiaban de un plano a otro, así como tampoco los símbolos que representaban el Fin del recorrido y la Zona Táctil. Pero en este plano existían dos tipos de símbolos que se podrían considerar convenciones visuales, el símbolo que representaba la escalera y el símbolo que muestra el ascensor (Véase ANEXOS en página 295).

c. Tareas y procedimiento

En este experimento se han empleado dos tipos de tareas: contar y localizar símbolos. Los participantes primero debían reconocer y memorizar el símbolo empleando la leyenda correspondiente a cada plano y con la ayuda, si era necesario, del investigador, después debían realizar cada tarea propuesta. Los usuarios que no leían en código Braille, los deficientes visuales y los usuarios videntes con los ojos tapados, se les comunicaba verbalmente el correspondiente significado de los símbolos. Los usuarios videntes y con restos visuales realizaron el experimento con un antifaz para observar únicamente sus resultados desde la óptica del sentido del tacto. La relación y contenidos de las tareas son las siguientes (Tabla 15):

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL













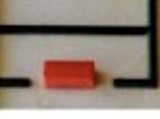



Tareas	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tipo de tarea, símbolos y carácter
Tarea 1			Localización
			Símbolo Inicio del recorrido
			3D vs. 2D
Tarea 2			Localización
			Símbolo Fin del recorrido
			2D vs. 2D
Tarea 3			Recuento (3 unidades)
			Escalera
			3D vs. 2D
Tarea 4			Localización
			Símbolo Ascensor
			3D vs. 2D
Tarea 5			Recuento (4 unidades)
			Símbolo Pilar
			3D vs. 2D
Tarea 6			Recuento (2 unidades)
			Símbolo Acceso restringido
			3D vs. 2D
Tarea 7			Localización
			Símbolo Chimenea
			3D vs. 2D
Tarea 8			Localización
			Zona Táctil
			2D vs. 2D

Tabla 15: Tabla resumen de las tareas del Experimento E, Plano táctil interior.

Tarea 1: localizar el símbolo “Inicio del recorrido” en ambos planos, Grupo 1 en el Plano A; Grupo 2 en el Plano B. Este símbolo en su versión del Plano B se considera una convención visual.

Variables a medir: tiempo de localización en segundos y errores cometidos.

Tipos de errores: De lectura, no se detectan, a pesar de que se han llegado a tocar y Falsos aciertos, se confunden con otros, bien por su similitud formal al tacto o por otras causas.

Valores que puede tomar la variable:

- 0. No hay errores, se ha encontrado.
- 1. Hay un error, no se ha encontrado o bien se ha confundido (Falso acierto).

Tarea 2: localizar el símbolo "Fin de recorrido". Idem Tarea 1, pero con el símbolo nombrado.

Tarea 3: contar la cantidad de símbolos "Escalera" (2D). Este símbolo en su versión del Plano

B se considera una convención visual

Variable a medir: Errores cometidos.

Tipos de errores: Falsos aciertos y errores de localización.

Valores que puede tomar la variable:

- Errores de localización: sólo hay 3 símbolos escalera distribuidos sobre los planos.
 - 0. No hay errores, si se encuentran los tres.
 - 1. 1 error, si sólo se encuentran 2.
 - 2. 2 errores, si sólo se encuentra 1.
 - 3. Si no se encuentran ninguno.
- Más Falsos aciertos (0, 1, 2...) si además se confunde con otro elemento del plano.

Tarea 4: localizar el símbolo "Ascensor". Idem Tareas 1 y 2. Este símbolo en su versión del Plano B se considera una convención visual.

Tarea 5: Contar Símbolo Pilar. Idem Tarea 3. Hay cuatro símbolos:

Valores que puede tomar la variable:

- Errores de localización:
 - 0: No hay errores, si se encuentran los cuatro.
 - 1: 1 error, si sólo se encuentran 3.
 - 2: 2 errores, si si sólo se encuentran 2.
 - 3: 3 errores, si si sólo se encuentran 1.
 - 4: 4 errores, si no se encuentra ninguno de los 4.
- Falsos aciertos (0, 1, 2...).

Tarea 6: Contar Símbolo Acceso restringido. Idem Tareas 3 y 5. Hay dos símbolos.

Tarea 7: localizar el símbolo "Chimenea". Idem Tareas 1, 2 y 4.

Tarea 8: localizar el símbolo Zona táctil. Idem Tareas 1, 2, 4 y 7.

Observaciones y contrastes estadísticos a realizar (Véase apartado Interpretación de los Resultados)

Las comparaciones a realizar se agrupan por casos con contenidos similares:

- **Caso 1:** Se trata de comparar si existen diferencias de tiempo y errores cometidos entre los símbolos Inicio del recorrido/Ascensor/Chimenea (Plano A) y sus homólogos en el Plano B, es decir, Inicio vs. inicio, Ascensor vs. Ascensor, etc. Atendiendo a que estos símbolos presentan diferencias formales entre planos, unos con carácter volumétrico y otros con carácter plano. El Caso 1 comprende el análisis de las Tareas 1, 4 y 7 agrupadas en un mismo conjunto.
- **Caso 2:** se pretende conocer si existen similitudes o diferencias entre los símbolos Fin de recorrido/Zona Táctil (Plano A) vs. Fin de recorrido/Zona Táctil (Plano B), atendiendo a que no se han modificado los símbolos entre ambas versiones, siendo en los dos planos símbolos con carácter plano. El Caso 2 comprende el análisis de las Tareas 2 y 8 en un mismo conjunto y las variables a medir son tanto los tiempos empleados en encontrar los símbolos, como los errores cometidos al realizar estas tareas.
- **Caso 3:** Se pretende observar las similitudes y/o diferencias entre las tareas de contar los símbolos en ambos planos. Los símbolos expuestos presentan diferentes características en función del plano, relieves planos en el Plano B y símbolos con carácter volumétrico en el Plano A. Se miden los errores cometidos. El Caso 3 comprende el análisis de las Tareas 3, 5 y 6 en un mismo conjunto.
- **Caso 4:** El Caso 4 pretende observar el comportamiento de las “traducciones directas” dentro del ámbito táctil. Este caso comprende dos partes, una primera consistente en el análisis de las tareas 1 (localizar el símbolo Inicio), 2 (localizar el símbolo Fin de recorrido) y 4 (localizar el símbolo Ascensor) dentro del Grupo 2; y una segunda parte en la que se comparan las tareas 1 (localización del símbolo Inicio del recorrido), 3 (recuento del símbolo Escalera) y 4 (localizar el Símbolo Ascensor) entre los dos grupos o planos.

En los Casos 1, 2 y 3 se desea comparar si existen diferencias entre diferentes tipos de usuarios, Invidentes, Deficientes visuales y Videntes, así como entre diferentes grados de experiencia de éstos (Usuario inexperto; Usuario familiarizado con la lectura Braille y Usuario experto).

Respecto al Caso 4, en la primer parte se han escogido estas tareas dentro del Grupo 2 (Plano B) por tres motivos que persiguen la equidad y el rigor en la comparación, el primero es que el

contenido de las tareas bajo las que se analizan son similares, se trata de tareas de localización y en ellas por lo tanto se miden las mismas variables en un mismo contexto y grupo, hecho que descarta al símbolo Escalera ya que, a pesar de ser una traducción directa de aspectos visuales a táctiles en el Plano B la tarea en la que se focaliza éste es la de recuento y no la de localización; el segundo es que se pretende comparar un símbolo tipo “traducción directa” (Inicio/Ascensor) con otro abstracto (Fin de recorrido) y el único plano en el que se muestran símbolos considerados “traducciones directas” es en el Plano B (Grupo 2); el tercero es que ambos símbolos poseen un rango de tamaño similar, evitando así que el sesgo del tamaño afecte a los resultados, ya que un tamaño de símbolo grande es más fácil de reconocer, de ahí que se descarte para la comparación las tareas relacionadas con la localización de las áreas-texturas. De esta manera sólo estos tres símbolos Inicio, Fin y Ascensor cumplieran todas las condiciones. Por otro lado, la variable escogida para la comparación de estos símbolos es la variable error. Se ha descartado la variable tiempo de localización evitando así posibles sesgos en los resultados por la posición del símbolo dentro del mismo plano.

De esta forma la comparativa se centra en símbolos con un mismo carácter, es decir, con relieve plano, con la salvedad de que dos de ellos, los símbolos Inicio y Ascensor se consideran “traducciones directas”, mientras que el símbolo Fin del recorrido es un símbolo abstracto que se suele emplear para señalar contenidos puntuales muy diversos (Departamento de Ingeniería Cartográfica y Topografía, UPM.), se trata de la circunferencia, una entidad simple muy versátil y que en este caso se emplea como “señuelo”.

En el otro extremo de la comparación, como se ha comentado, se encuentran las formas táctiles que se consideran sendas “traducciones directas”. Una es la “punta de flecha”, es decir, una “V” tumbada que en función de la dirección de su vértice indica una dirección u otra, y que comúnmente se emplea para representar “sentido”, en este caso del inicio de recorrido. Su carácter formal es simple, aunque ligeramente menor que la circunferencia ya que esta conformada por dos elementos (dos líneas en relieve) y además es una entidad abierta, mientras que la circunferencia que representa el Fin del recorrido es una entidad por su propia naturaleza, cerrada. Por otro lado, el símbolo Ascensor, la otra “traducción directa” empleada aquí, se representa mediante un cuadrado con un lado abierto en el que en su interior se cruzan dos diagonales. Sin duda, se trata de la entidad táctil más compleja de las tres, pero que muy comúnmente se usa para la representación de este tipo de contenidos concretos (ascensores o en algunos casos huecos de

6. ESTRUCTURA DEL MODELO EXPERIMENTAL

escalera), no se suele utilizar para representar otros contenidos (Imagen 56).

En la segunda parte, se han escogido los símbolos Inicio del recorrido, Escalera y Ascensor para ser analizados mediante una comparativa entre planos y/o grupos, ya que se requería observar el comportamiento de las “traducciones directas” (Símbolos citados previamente del Plano B) con sus homónimos en el Plano A, lo cuales no provienen de una “traducción directa”. Desde este caso se podrá deducir si un símbolo tridimensional puede ser un buen sustituto o no de una “traducción directa”.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en los diferentes experimentos descritos en la sección anterior, así como su posterior análisis.

7.1. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS

El Experimento A, Encuesta y mapas se divide en dos partes: una primera parte consistente en la realización de una encuesta y; una segunda, que versa sobre mapas cognitivos. A continuación se exponen los datos obtenidos tras la realización de esta experiencia.

7.1.1. EXPOSICIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA ENCUESTA.

A la primera pregunta sobre la utilidad de los productos táctiles (planos maqueta) para mejorar la orientación en el entorno, la valoración media global de todo el grupo fue de 8.60 (SD 1.5). El grupo de usuarios que más valoró la maqueta-plano para mejorar la orientación fue el de las personas con restos visuales con una nota de 9.40 (SD 0.55) (Tabla 16).

Respecto la segunda pregunta relativa a si los productos táctiles (maquetas) son de utilidad para mejorar la comprensión de los contenidos de la visita, la valoración media global de todo el grupo fue de 9.15 (SD 1.73). El grupo que más valoró este tipo de recursos fue el de los invidentes con una nota media de 9.40 (SD 1.34). La valoración media global de las dos preguntas es 8,88.

Tipo de Participante		Pregunta 1	Pregunta 2
Invidente	N	5	5
	Valoración media	7.80	9.40
	SD	1.78	1.34
Deficiente Visual	N	5	5
	Valoración media	9.40	8.90
	SD	0.54	2.1

Tabla 16: Tabla con resultados de las preguntas 1 y 2.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En relación a las dos modalidades de visita, en las que un segundo grupo realizó el itinerario tomando contacto con la maqueta del conjunto al final del recorrido (Imagen 71), para el grupo que realizó la experiencia convencional, la valoración de la utilidad de las maquetas de detalle fue la más alta posible, 10,00 (Tabla 17); y la valoración para la maqueta de conjunto fue de un 8,50 (SD 1,94). El grupo que realizó la experiencia tomando contacto con la maqueta-plano de conjunto al finalizar el recorrido, valoró las maquetas de detalle con un 8,58 (SD 2,11); y la de conjunto con un 8,67 (SD 1,37).

Participación en la Experiencia		Pregunta 1 (conjunto)	Pregunta 2 (detalle)
No visita (normal)	N	4	4
	Media	8.50	10.00
	SD	1.915	0.000
Sí (conjunto después)	N	6	6
	Media	8.67	8.58
	SD	1.367	2.107
Total	N	10	10
	Media	8.60	9.15
	SD	1.506	1.733

Tabla 17: Tabla con los resultados de las preguntas 1 y 2 en función de la participación o no en la experiencia.

Sobre la tercera pregunta a cerca de cuál de los dos tipos de maquetas es más útil para la visita, las de detalle o la de conjunto: 5 de los encuestados contestó que le parecían más útiles las de detalle; 4 las de conjunto y uno indistinto.

Por último, en relación a las observaciones registradas, éstas han sido las siguientes:

“Mejor apreciar la maqueta general primero. La explicación verbal distrae al tacto” y “Muy importante el guía y la ayuda verbal”

7.1.2. EXPOSICIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL EXPERIMENTO CON MAPAS COGNITIVOS.

Los datos que se exponen a continuación han sido obtenidos a partir de 6 voluntarios, los 4 primeros participantes son usuarios con deficiencia visual, es decir, tienen algún resto de visión, mientras que los dos últimos participantes son invidentes congénitos. Para facilitar la comprensión de los mapas cognitivos se ha realizado una transcripción digital de los esquemas realizados por los participantes, eliminando los elementos perturbadores y señalizando con texto el significado de los trazos. A todos los mapas cognitivos les acompaña una breve tabla que muestra los elementos (ítems informativos) indicados en ambas situaciones (modalidades), antes (Mapas “A”) y después (Mapas “B”) de tomar contacto con el plano táctil del conjunto de la Bastida de Moixent (Valencia).

A continuación se muestran los resultados obtenidos con cada uno de los participantes:

a. Participante 1

Los mapas cognitivos muestran ciertas diferencias entre ellos. En el primer mapa (Mapa A) se muestra una imagen global elemental, en la que el recorrido es el elemento principal de la composición ([Imagen 86](#)). En el segundo mapa se sitúan un par de elementos más de los dibujados anteriormente, el perímetro de la muralla y el segundo poblado (Almacenes Industria)([Tabla 18](#)). Aunque el aspecto más destacado es que en el segundo mapa existe una mejoría en la disposición general de los elementos y mayor ajuste en el trazo del perímetro de la muralla, respecto de la composición real.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

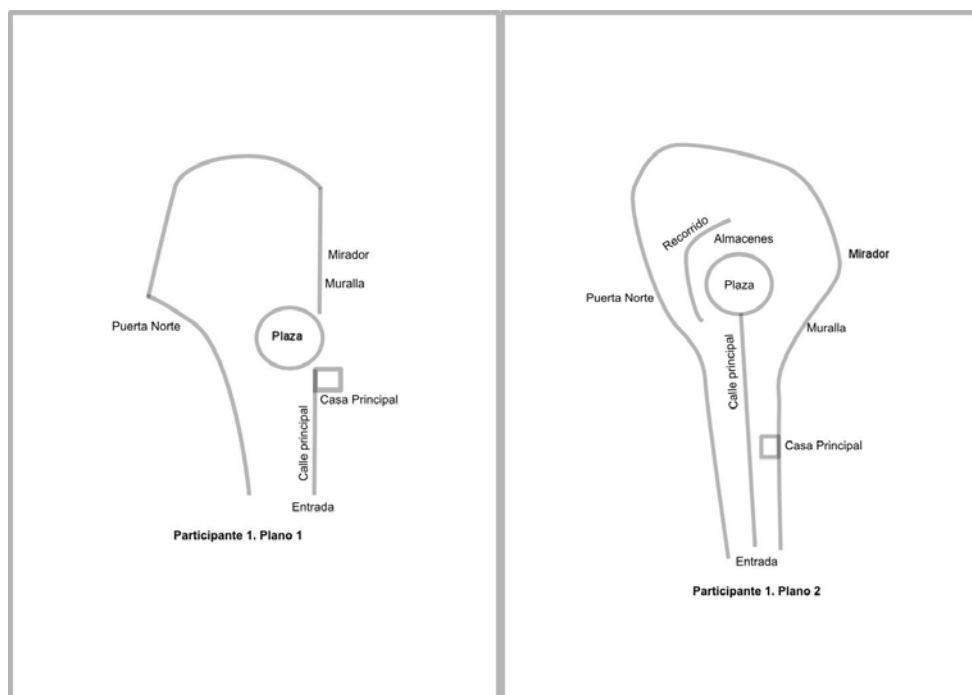


Imagen 86: Mapas cognitivos del participante 1. Mapa A y Mapa B.

Items	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	0	0
Casa principal	1	1
Recorrido	1	1
Calle principal	1	1
Perímetro muralla	0	1
Salida Puerta Norte	1	1
Plaza	1	1
Almacenes- Industria	0	1
Arboleda	0	0
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	0	0
Mirador valle 2	1	1
Zona no visitable	0	0
TOTAL	7	9

Tabla 18: Tabla resumen de los resultados del Participante 1.

b. Participante 2

Este participante ha realizado un par de mapas cognitivos en los que se muestra una disposición de los elementos similar (Imagen 87), aunque en el segundo mapa añade un recorrido más ajustado y la arboleda (Tabla 19). Además, en este último mapa cognitivo, el participante destaca las torres que flanquean la entradas con formas rectangulares, hecho que en el primer caso apenas se esboza en la representación de la Puerta Norte.

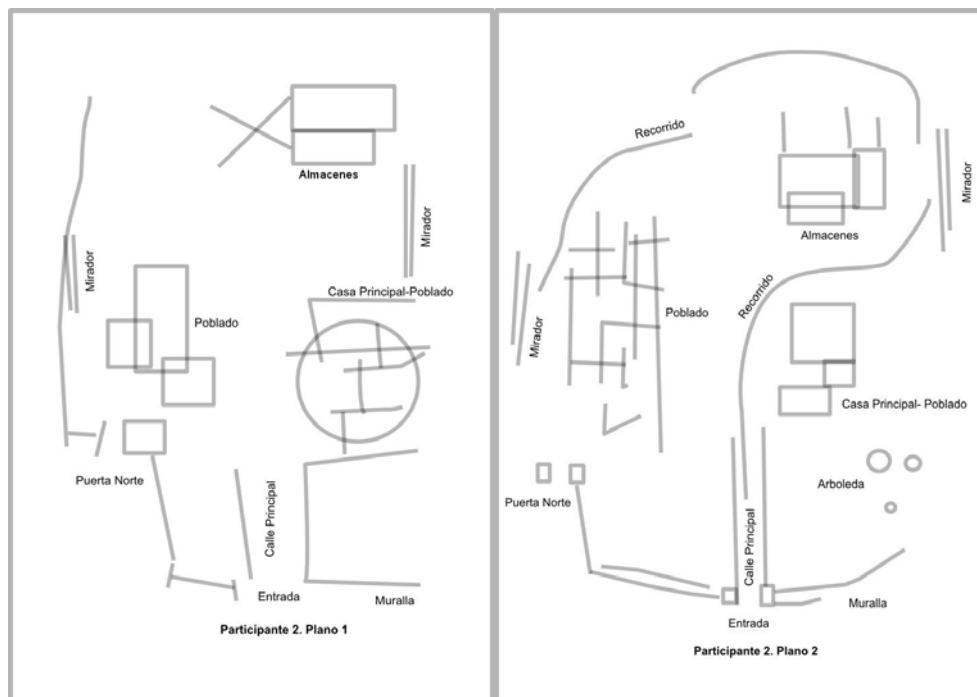


Imagen 87: Mapas cognitivos del Participante 2.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Items	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	1	1
Casa principal	1	1
Recorrido	0	1
Calle principal	1	1
Perímetro muralla	1	1
Salida Puerta Norte	1	1
Plaza	0	0
Almacénes- Industria	1	1
Arboleda	0	1
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	1	1
Mirador valle 2	1	1
Zona no visitable	0	0
TOTAL	9	11

Tabla 19: Tabla resumen de los resultados del Participante 2.

c. Participante 3

El Participante 3 ha dibujado dos mapas cognitivos con diferencias claras en la precisión de la forma global del poblado y en la disposición de los elementos (Imagen 88), en el segundo caso mejorada. Además, en el segundo mapa ha incluido la Arboleda que en el primero no estaba (Tabla 20). Por último, este usuario ha mostrado un recorrido más claro y ajustado en el segundo mapa.

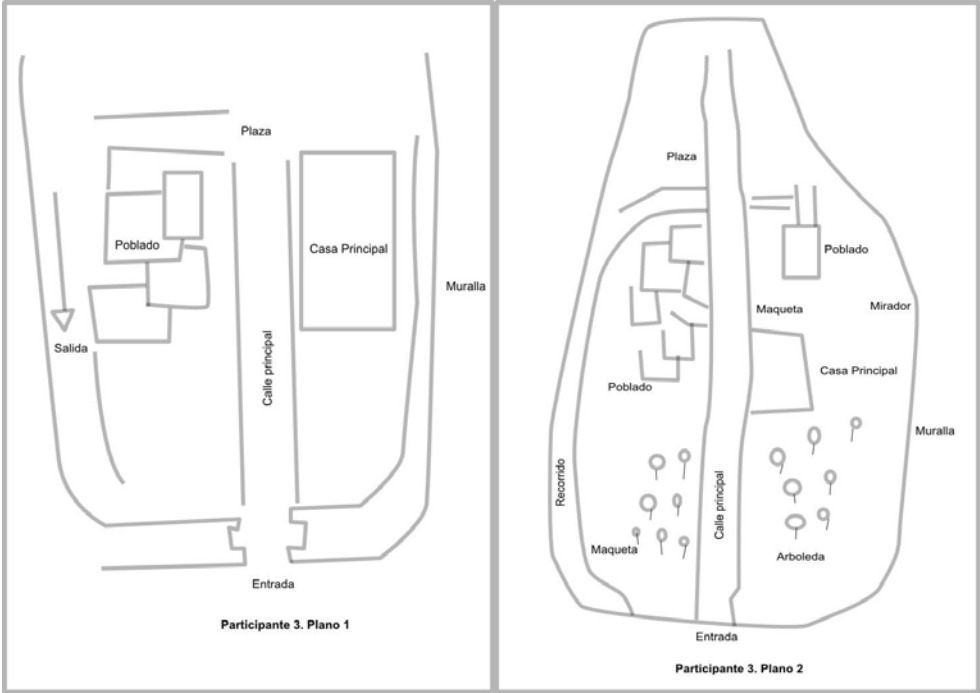


Imagen 88: Mapas cognitivos del Participante 3.

Items	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	1	1
Casa principal	1	1
Recorrido	0	1
Calle principal	1	1
Perímetro muralla	1	1
Salida Puerta Norte	1	0
Plaza	1	1
Almacénes- Industria	0	0
Arboleda	0	1
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	0	0
Mirador valle 2	0	0
Zona no visitable	0	0
TOTAL	7	8

Tabla 20: Tabla resumen de los resultados del Participante 3.

d. Participante 4

Los dos mapas de este participante muestran diferencias significativas en aspectos fundamentales (Imagen 89). El primer mapa es de carácter básico, se representa la muralla con una forma casi circular y, por otro lado, expone sólo 5 ítems informativos. El recorrido y la muralla se representan como el mismo elemento. El segundo, sin embargo, expone 9 ítems mejor distribuidos (Tabla 21), añade la Calle Principal, la Arboleda, un Mirador y la Zona no excavada (no visitable), y su aspecto más destacable es una forma global muy similar a la real, a diferencia de la representación básica del primero. Por otro lado, en este mapa el recorrido y la muralla se exponen por separado, tal y como sucede en la realidad. Por último, este usuario modificó la orientación del mapa cognitivo, en el segundo giró la representación 90° posicionando el mapa según se expone en el plano táctil.

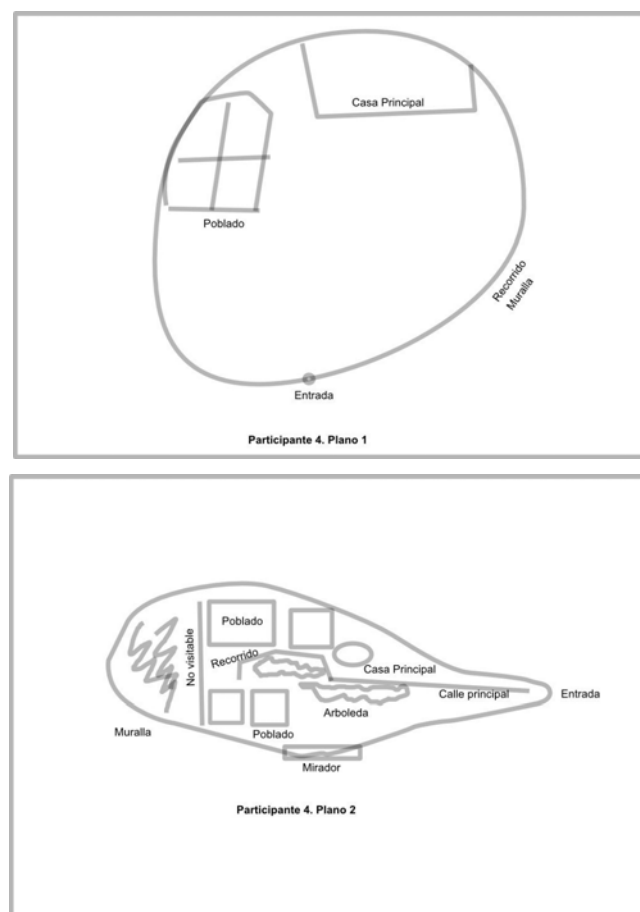


Imagen 89: Mapas cognitivos del Participante 4.

Items	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	1	1
Casa principal	1	1
Recorrido	1	1
Calle principal	0	1
Perímetro muralla	1	1
Salida Puerta Norte	0	0
Plaza	0	0
Almacenes- Industria	0	0
Arboleda	0	1
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	0	0
Mirador valle 2	0	1
Zona no visitable	0	1
TOTAL	5	9

Tabla 21: Tabla resumen de los resultados del Participante 4.

e. Participante 5

Los resultados obtenidos con los mapas cognitivos del Participante 5 son muy significativos, ya que existen diferencias notables entre ambos dibujos (Imagen 90). En el primero sorprende la distribución lineal del recorrido siguiendo una secuencia en línea recta. En el segundo, la distribución de los ítems informativos es mucho más precisa y se exponen más cantidad que en el primero. La forma global se ajusta más a la realidad extendiéndose en la dimensión del plano. Se añaden los ítems: Calle principal, Perímetro de la muralla, Arboleda y Zona no Visitable. Sin embargo, se omiten, en el Mapa B, la representación de la Casa Principal y la Salida por la Puerta Norte, que en el primer plano sí que estaban (Tabla 22).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

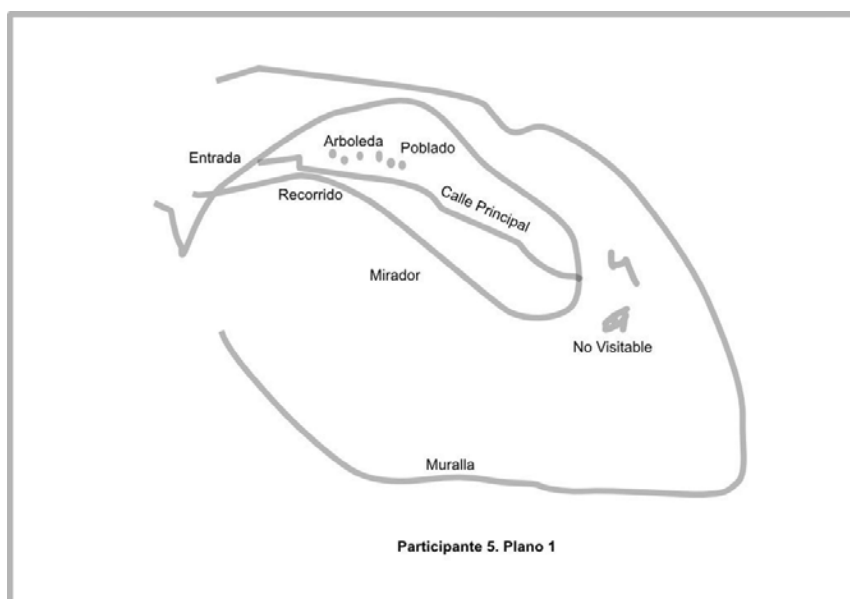
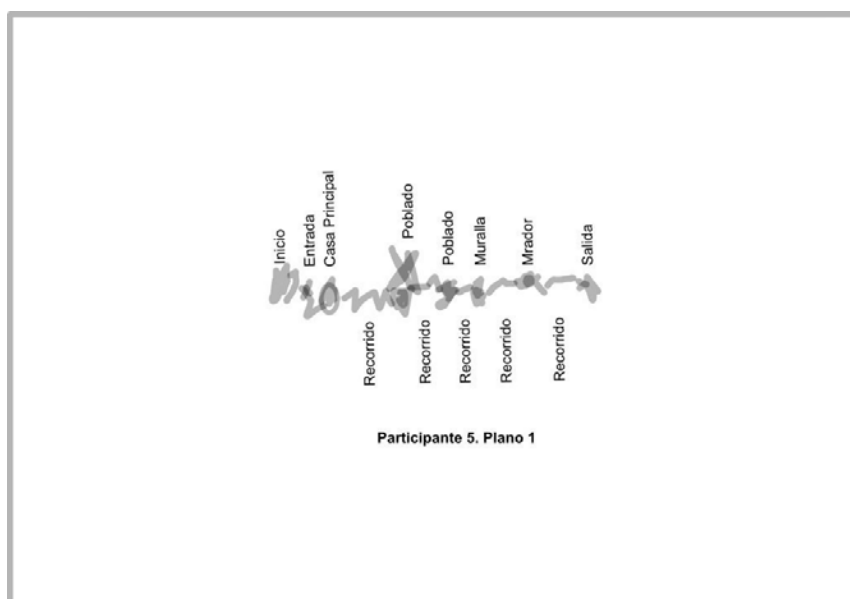


Imagen 90: Mapas cognitivos del Participante 5.

Items	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	1	1
Casa principal	1	0
Recorrido	1	1
Calle principal	0	1
Perímetro muralla	0	1
Salida Puerta Norte	1	0
Plaza	0	0
Almacenes- Industria	0	0
Arboleda	0	1
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	1	1
Mirador valle 2	0	0
Zona no visitable	0	1
TOTAL	6	8

Tabla 22: Tabla resumen de los resultados del Participante 5.

f. Participante 6

El Participante 6 ha dibujado dos mapas cognitivos con contenidos similares (Tabla 23). La única diferencia en este nivel es que en el segundo se ha incluido la arboleda. Ahora bien, la principal diferencia entre ambos casos radica en una disposición más ajustada a la realidad en el segundo mapa, por ejemplo, en la representación de la muralla, la cual en el primer caso se expone como un simple tramo cerca de la entrada, mientras que en el segundo pretende rodear todo el perímetro del poblado (Imagen 91).

Por último, respecto a este usuario, sorprende la diferencia de orientación en los dibujos expuestos: en el primer mapa, de izquierda (Inicio) a derecha y, en el segundo, de derecha (Inicio) a izquierda siguiendo, en este último caso, la disposición percibida en el plano táctil, como el Participante 4.

La Salida por la Puerta Norte la dibuja en el extremo opuesto a la entrada, tal y como si el recorrido fuese recto y en él no se produjesen giros. Este hecho sucede en ambos planos.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

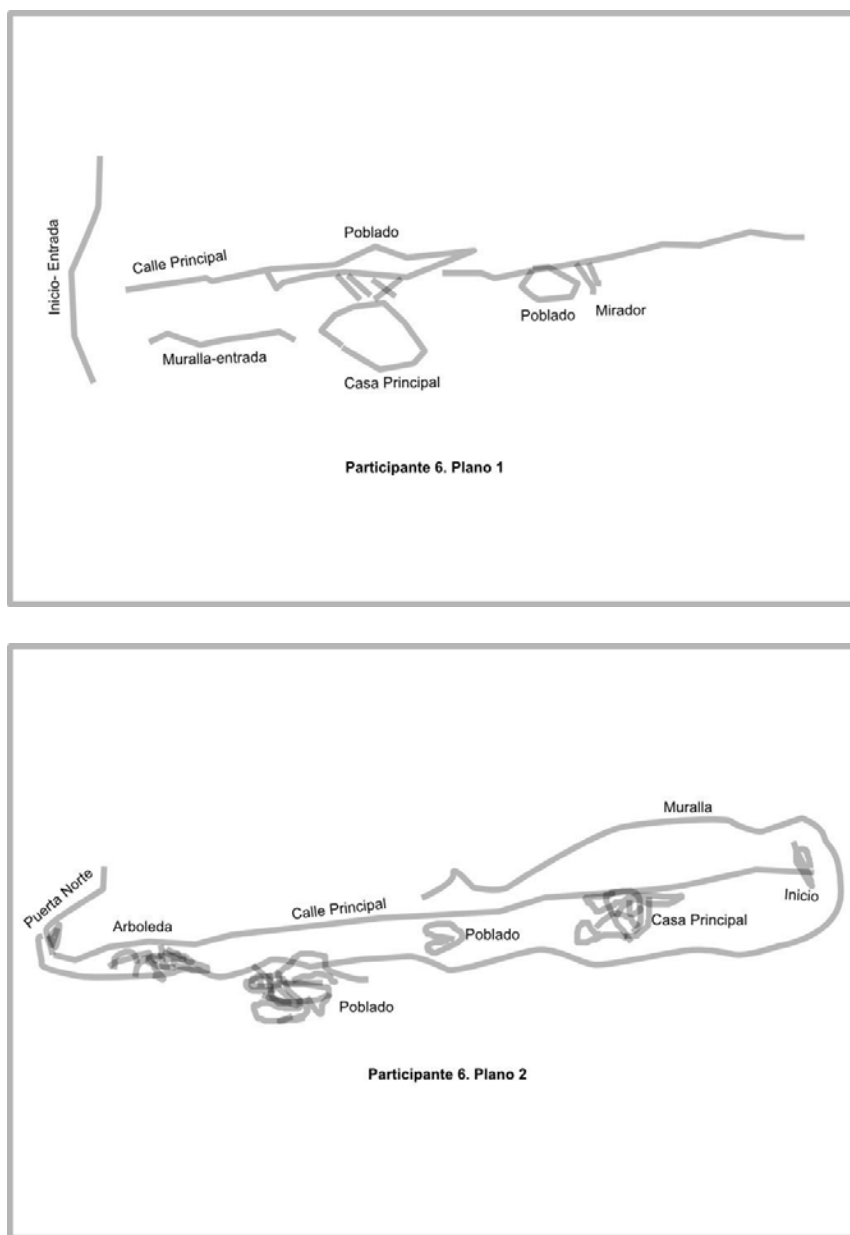


Imagen 91: Mapas cognitivos del Participante 6.

Ítems	Mapa A	Mapa B
Entrada	1	1
Poblado	1	1
Casa principal	1	1
Recorrido	0	0
Calle principal	1	1
Perímetro muralla	1	1
Salida Puerta Norte	0	1
Plaza	0	0
Almacenes- Industria	0	0
Arboleda	0	1
Maquetas	0	0
Mirador Valle 1	0	0
Mirador valle 2	1	0
Zona no visitable	0	0
TOTAL	6	7

Tabla 23: Tabla resumen de los resultados del Participante 6.

7.1.3. RECUENTO DE LOS ÍTEMS INFORMATIVOS

Por último, cabe señalar que después de realizar la experiencia y contar la cantidad de ítems informativos representados en ambas situaciones, con los Mapas A y B, se aprecia un ligero aumento de los ítems expuestos en el segundo caso. En el primera mapa, atendiendo a 14 ítems reseñables, se han mostrado de media aproximadamente un 48% de los ítems. En el segundo, casi un 62% (Tabla 24), es decir, un 14% más que en el primero. El usuario más beneficiado por el empleo del mapa táctil del conjunto, Mapa B, ha sido el usuario deficiente visual Participante 4, con un incremento alrededor del 28% de los ítems representados entre mapas; y el que menos, el Participante 3, con incremento del 12,5 %.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Participantes	Mapa A	Mapa B
1	7	9
2	9	11
3	7	8
4	5	9
5	6	8
6	6	7
Media	6.67	8.67
SD	1.37	1.37

Tabla 24: Tabla resumen con los resultados de los 6 participantes.

7.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS

Este análisis consta de dos partes, por un lado, el realizado sobre la encuesta y por otro el de los mapas cognitivos dibujados por los participantes.

7.2.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA GLOBAL SOBRE DISPOSITIVOS TÁCTILES

Los resultados obtenidos en la encuesta del Experimento A, Encuesta y mapas deben considerarse con cautela, debido al tamaño de muestra relativamente pequeño con el que se ha tratado, 10 personas.

Así, según se aprecia en ésta, las valoraciones de la utilidad de los dispositivos táctiles son altas para el grupo de usuarios deficientes visuales e invidentes (Gráfica 2) con sólo un ligero descenso de la valoración de los dispositivos táctiles para la orientación por parte de los participantes invidentes. Este hecho se sostiene en la nota media global obtenida, próxima a 9 sobre 10, en los dos casos tratados aquí: los planos de conjunto para la mejora de la orientación (pregunta 1) y las maquetas de detalle para la mejora de la comprensión de los contenidos (pregunta 2) (Gráfica 2). Este hecho corrobora la apreciación que algunos expertos en la materia realizan sobre estos productos, tanto del uso de maquetas táctiles, como de planos en relieve (Blades et al., 2010; Espinosa & Ochaíta, 1998; James, 1982; Lillo Jover, 1992; Spencer & Travis, 1985; Gratacós Masanella, 2006).

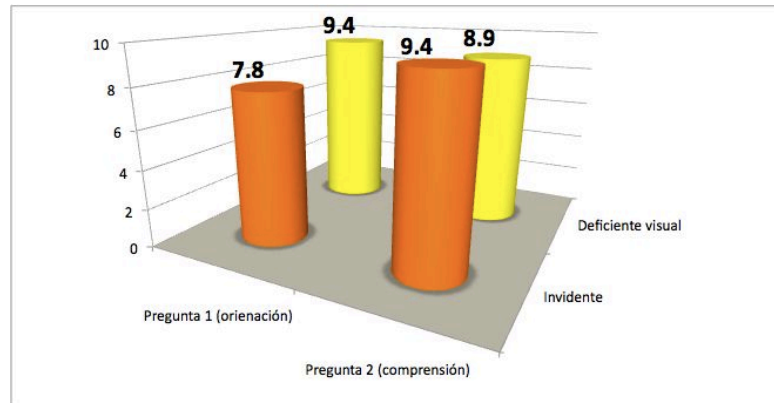


Gráfico 2: Resultados de las preguntas 1 y 2.

En cualquier caso, destaca que los usuarios con restos visuales hayan percibido cómo más útil el dispositivo para la orientación que las maquetas de detalle. Sin embargo, los participantes invidentes han valorado más positivamente las maquetas que muestran contenidos en detalle que el plano-maqueta de conjunto.

Por otro lado, las maquetas de detalle tuvieron la máxima valoración posible, 10 sobre 10, entre los usuarios que realizaron el recorrido de la manera tradicional, es decir, primero tomando contacto con la maqueta-plano de conjunto, para orientarse y tener una visión global, y posteriormente tomar contacto, durante el recorrido, con las maquetas de detalle. El grupo que realizó la experiencia dejando para el final la toma de contacto con la planta del conjunto, valoró de igual modo ambos dispositivos (Gráfico 3).

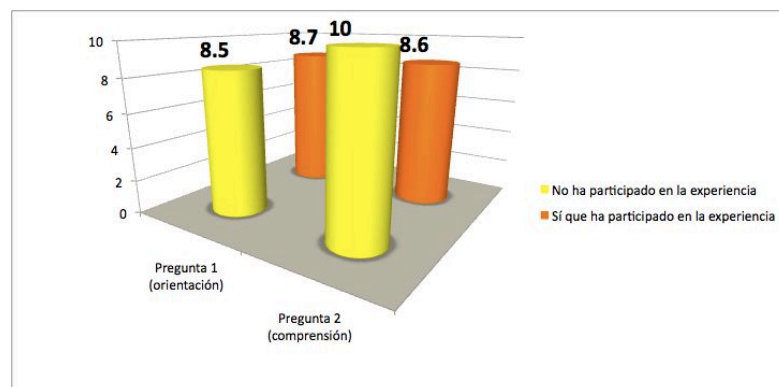


Gráfico 3: Resultados de las preguntas 1 y 2 en función de la participación o no en la experiencia

Este hecho nos lleva a pensar que la maquetas de detalle son más valoradas cuando se refuerzan primero con un “vistazo” global. De ahí la importancia de ambas figuras de recursos táctiles, y de continuar una secuencia lógica que permita ir desde aspectos generales en un primer

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

término hasta los más concretos en segunda instancia, en el proceso de aprendizaje con instrumentos táctiles.

En este sentido, la tercera pregunta ha dado respuestas equilibradas en relación a las preferencias por un tipo de producto u otro, con una ligera tendencia hacia la preferencia por las maquetas de detalle. Hecho que se refuerza, incluso con algunos de los comentarios registrados por los participantes.

Por último indicar, que entre las observaciones se hiciera mención expresa a la asistencia verbal, sin estar este ítem contemplado en la encuesta. Este hecho indica de su importancia para la comprensión de los dispositivos táctiles y de la visita en general (Consuegra Cano, 2002;(NCA, 2011), aunque un participante consideró que la asistencia verbal realizada simultáneamente con la exploración táctil interfería en su proceso de asimilación de los contenidos, contradiciendo las recomendaciones de algunos autores (Joffee & Siller, 1997), hecho que podríamos considerar puntual y no excesivamente representativo debido a que fue un único comentario el que realizó esta apreciación.

7.2.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS SOBRE MAPAS COGNITIVOS

Los resultados que aquí se exponen del experimento con mapas cognitivos no tienen un carácter cuantitativo, sino cualitativo. Por ello, las cifras que este estudio muestra, en el recuento de los ítems informativos representados por cada participante en las dos diferentes situaciones en las que se realiza los dibujos, son meramente orientativas. En cualquier caso, los 6 participantes del experimento mejoraron su estructura mental del entorno, todos incrementaron la cantidad de ítems representados (Gráfico 4).

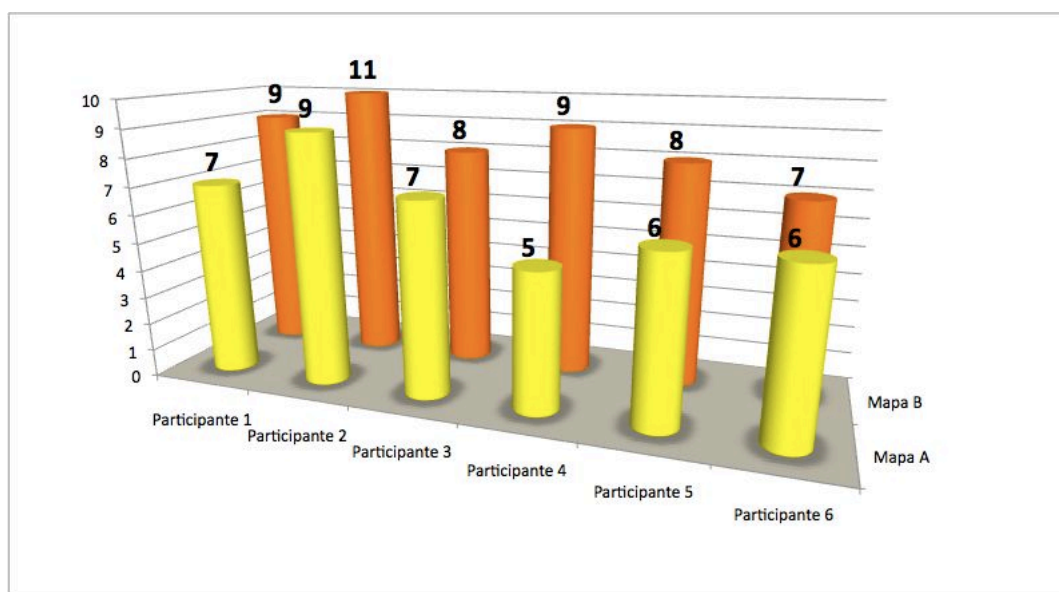


Gráfico 4: Distribución de la cantidad de elementos representados en ambos mapas en los 6 participantes en la experiencia.

Por regla general, las representaciones expuestas en ambas situaciones por cada participante, muestran diferencias en dos aspectos sustanciales: la mejor representación de la forma global de la distribución en planta de la Bastida de Moixent y la inclusión de más elementos en el segundo mapa cognitivo (Mapa B), es decir, después de tomar contacto con el plano táctil que expone el conjunto (Gráfico 5).

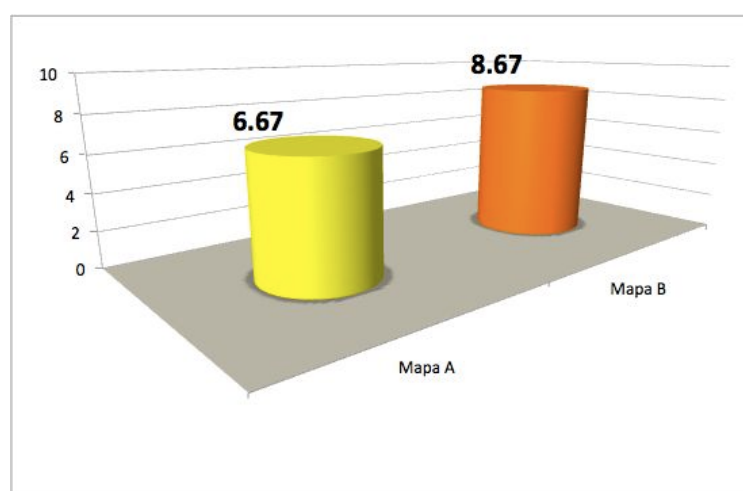


Gráfico 5: Media de los elementos representados en ambos mapas.

Por otro lado, 4 de los 6 participantes (Participantes 1, 3, 4 y 5), han mejorado la disposición de los elementos en el Plano B, respecto al Plano A. En este sentido, los Participantes 2 y 6, han

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

realizado sendos mapas con formas y distribuciones similares, destacando únicamente ciertos reajustes entre dibujos: el recorrido en el Participante 2 y el Perímetro de la muralla en el Participante 6.

Cabe destacar, en este análisis, la sorprendente evolución entre ambos planos en el caso del Participante 5, un usuario invidente congénito. Ya que de una distribución en línea del primer caso pasa a una representación significativamente más compleja con una reorganización de los ítems más ajustada a la realidad en el segundo. En este sentido, el otro usuario con invidencia congénita, a pesar de realizar una disposición similar entre mapas, sorprende por el dibujo de su segundo mapa en el que realiza un cambio de orientación. Este cambio se produce después de que le fuese expuesta la maqueta de conjunto, haciendo coincidir la representación del mapa cognitivo con la del plano táctil expuesto, hecho que muestra un reajuste mental gracias a la influencia del dispositivo táctil. Este último aspecto también sucedió con el Participante 4.

Por último, comentar que se han encontrado diferencias significativas en la ejecución de los mapas cognitivos entre los participantes con restos visuales y los invidentes. Obviamente, los usuarios con invidencia congénita denotan un escaso uso de las técnicas de representación gráfica, hecho que se aprecia en la claridad y precisión de los distintos mapas cognitivos realizados. Aunque a nivel de contenidos, es decir, de ítems representados, no existen diferencias significativas entre tipologías de usuarios, ya que las diferencias mostradas exponen que el caso más beneficiado es precisamente el de un participante con deficiencia visual.

7.3. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL

En esta sección se muestran los datos obtenidos tras la realización del Experimento B, Discriminación táctil. La exposición de los resultados se estructura en dos grandes bloques. Uno primero en el que se atiende a los factores de carácter formal del símbolo evaluado y perfil de participante según su deficiencia y experiencia previa; y un segundo bloque en el que los datos se organizan de manera individual para cada símbolo evaluado.

7.3.1. RESULTADOS SEGÚN EL CARÁCTER FORMAL DE LOS SÍMBOLOS Y LOS PERFILES DE LOS PARTICIPANTES

Los resultados generales del experimento, después de realizar las pruebas a los 53 participantes, indican que existe una reducción de errores significativa (54,33%), en el reconocimiento de símbolos en 3D respecto los de 2D, atendiendo sólo a los dos pares estudiados (Pirámide-Anillo y

“O-V” y a los errores totales (*test de Wilcoxon*: $p\text{-valor}= 0.005$; $\alpha= 0.05$; $poder= 0.993$; *tamaño del efecto*= 0.59) (Tabla 25).

ERRORES TOTALES	N	Media	SD
SÍMBOLOS EN 2D	53	1.57	1.65
SÍMBOLOS EN 3D	53	0.72	1.04

Tabla 25: Media de errores totales según la tipología de símbolos 2D o 3D.

Si se segrega por tipología de errores, de lectura o falsos aciertos:

- La media de errores de lectura en símbolos táctiles en 3D ha sido de 0.60 (SD 0.93). Mientras que en 2D ha sido de 1.06 (SD 1.33). Es decir que se ha producido una diferencia del 43% entre símbolos 2D y 3D a la hora de reconocer correctamente éstos en las plantillas (*test de Wilcoxon*: $p\text{-valor}= 0.062$; $\alpha= 0.05$; $poder=0,86$; *tamaño del efecto*= 0.39).
- La media de errores por falsos aciertos en símbolos táctiles en 3D ha sido de 0.11 (SD 0.32). Mientras que en los símbolos en 2D ha sido de 0.51 (SD 1.01). Es decir se ha producido una diferencia más de 4 veces entre ellos (*test de Wilcoxon*: $p\text{-valor}= 0.012$; $\alpha= 0.05$; $poder= 0.93$; *tamaño del efecto*= 0.44).

Desde la óptica interna de los participantes dentro de cada grupo de símbolos, el grupo que menos errores ha cometido con los símbolos en 2D ha sido el de invidentes, mientras que con los símbolos en 3D los participantes con una menor media de errores ha sido el grupo de videntes (*blindfolded*) (Tabla 26). A pesar del distinto comportamiento entre tipología de símbolos, el *test de Kruskal Wallis* indica que las diferencias obtenidas no son significativas: $p\text{-valor}= 0.31$ para los errores en símbolos en 2D y $p\text{-valor}= 0.31$ para los de 3D, entre los diferentes perfiles de usuarios.

En cualquier caso, analizando los datos desde la óptica de los tipos de participantes ha habido una reducción de la media de errores al reconocer los símbolos en 3D respecto a los de 2D. El grupo más beneficiado ha sido el de los videntes (*blindfolded*) con una reducción de errores del 73.54% (*test de Wilcoxon*: $N=18$; $p\text{-valor}= 0.010$; $\alpha= 0.05$; $poder=0,99$; *tamaño de efecto*=0.89). Los invidentes, sin embargo, sólo redujeron los errores en un 28.57% (*test de Wilcoxon*: $N=18$; $p\text{-valor}= 0.410$; $\alpha= 0.05$).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

TIPO DE DISCAPACIDAD		ERRORES TOTALES 2D	ERRORES TOTALES 3D
Invidente	N	26	26
	Media	1.19	0.84
	SD	1.443	1.120
Deficiente visual	N	9	9
	Media	2.00	0.78
	SD	1.871	0.833
Vidente	N	18	18
	Media	1.89	0.50
	SD	1.779	1.043

Tabla 26: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el perfil del usuario: Invidente, Deficiente visual y Vidente.

En relación a la experiencia táctil previa el grupo en el que se ha encontrado una mayor diferencia de errores ha sido el de los usuarios que saben leer en Braille pero no son expertos en la materia de los gráficos tangibles, con una reducción de hasta el 80% entre tipologías de símbolos (2D vs. 3D) ($p\text{-valor}=0.011$; $\alpha=0.05$; $poder=0.89$; $tamaño\ de\ efecto=0.78$) (Tabla 27). El perfil de participante experto ha conseguido unos resultados similares a la hora de identificar símbolos con una pequeña mejoría del 7,69% ($p\text{-valor}=0.963$). En cualquier caso, el *test de Kruskal Wallis* indica que no existen diferencias entre la experiencia previa de los usuarios con los dispositivos táctiles, ya que el $p\text{-valor}$ obtenido es mayor de 0.05 (Tabla 28). Los participantes que menos errores han cometido en el reconocimiento de los símbolos en 2D han sido los expertos, y al mismo tiempo han sido los que más errores han cometido al identificar los símbolos en 3D.

EXPERIENCIA TÁCTIL		ERRORES TOTALES 2D	ERRORES TOTALES 3D
NO TIENE EXPERIENCIA	N	28	28
	Media	1.96	0.82
	SD	1.666	1.090
TIENE UN POCO DE EXPERIENCIA (LEE Braille)	N	12	12
	Media	1.25	0.25
	SD	1.913	0.622
USUARIO EXPERTO	N	13	13
	Media	1.00	0.92
	SD	1.155	1.187

Tabla 27: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el nivel de experiencia previa de los participantes.

Estadísticos	ERRORES TOTALES 2D	ERRORES TOTALES 3D
Chi-Square	4.397	4.115
df	2	2
p valor	0.111	0.128

Tabla 28: Estadísticos descriptivos según la experiencia previa de los participantes.

Entre perfiles de usuarios y dentro de cada tipo de error no hay diferencia de errores de reconocimiento. Sin embargo, en el estudio sí que se han encontrado diferencias significativas, con un alto poder estadístico y tamaño de efecto, en los Falsos Aciertos tanto en usuarios videntes (*test de Wilcoxon*: $p\text{-valor}=0.039$; $poder=0.99$; $tamaño\ del\ efecto=0.90$), como en usuarios inexpertos (*test de Wilcoxon*: $p\text{-valor}=0.022$; $poder=0.99$; $tamaño\ del\ efecto=0.78$).

7.3.2. SEGÚN LOS SÍMBOLOS TÁCTILES

Los datos que ahora se exponen se presentan sin atender a los errores por falsos aciertos que pueden estar provocados por la similitud de los símbolos vecinos empleados en cada plantilla. De este modo, sólo se analizan los datos propiamente de reconocimiento (lectura) del símbolo en cada posición de la plantilla, después de que cada participante haya pasado el dedo por encima y lo

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

haya reconocido o no.

Como se puede apreciar en la [Tabla 29](#), los datos obtenidos indican que la menor media de errores corresponde a un símbolo volumétrico (Pirámide). Mientras que el símbolo con una media más alta de errores ha sido la "V" o cabeza de flecha.

El primer aspecto que cabe señalar es que todos los símbolos han obtenido unos resultados relativamente buenos, es decir, elevados. La pirámide, símbolo en 3D es la que ha obtenido los mejores resultados, próximo al 100% de aciertos, mientras que la "V o cabeza de flecha" ha sido el símbolos táctil con mayor número de errores, quedando su porcentaje de aciertos en un 90.6%. Estos datos pueden considerarse estadísticamente significativos.

Símbolo	N*	Media	SD	Frecuencia de aciertos	Porcentaje de aciertos
V	424	0.094	0.293	384	90.6
O	424	0.035	0.185	409	96.5
PIRÁMIDE	424	0.019	0.136	416	98.1
ANILLO	424	0.061	0.240	398	93.9

*N = 53 participantes x 4 símbolos/plantilla x 2 plantillas/símbolos=424

Tabla 29: Media de errores de lectura y porcentaje de aciertos según el símbolos táctil.

7.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL

7.4.1. SEGÚN EL CARÁCTER FORMAL DE LOS SÍMBOLOS Y LOS PERFILES DE LOS PARTICIPANTES

Observando los resultados obtenidos en este experimento se aprecia una diferencia de errores estadísticamente significativa entre los dos grupos analizados, los símbolos en 2D y en 3D. La media de errores de reconocimiento táctil en el par de símbolos tridimensionales ha sido significativamente menor con un poder estadístico alto y un tamaño de efecto mediano ([Gráfico 6](#)). Por otro lado, si se segregan los errores de reconocimiento por su tipología, es decir, en función de si son errores de lectura (no se han reconocido a pesar de que se han tocado) o falsos aciertos (se han confundido con otros), en cualquiera de los dos casos las diferencias son significativas desde la óptica estadística, produciendo los símbolos en 3D una media de errores siempre menor, y en ambos casos con un alto poder y un tamaño de efecto mediano.

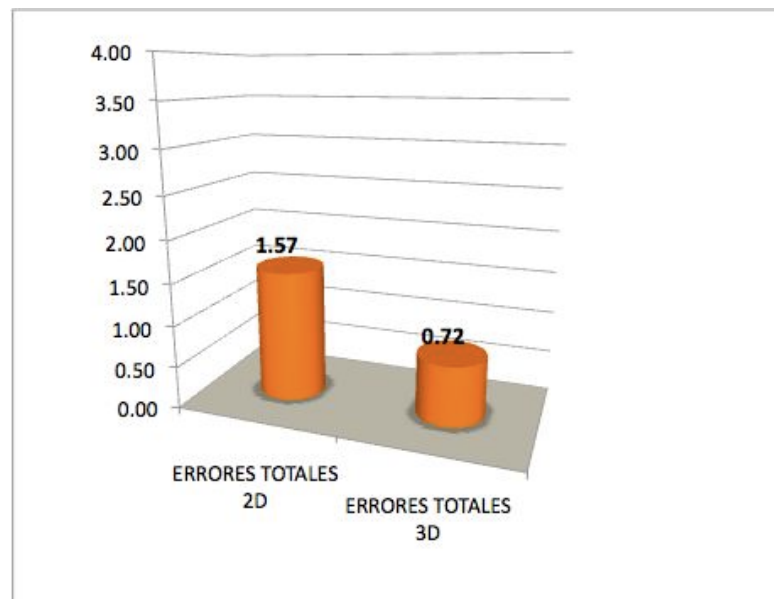


Gráfico 6: Media de errores totales según la tipología de símbolos 2D o 3D.

Este hecho se debe, entre otros aspectos, a la facilidad de reconocimiento táctil de formas simples en tres dimensiones y a la casi imposibilidad de confundir un símbolo táctil en 3D con uno en 2D; y/o uno en 3D con otro en 3D si sus atributos formales y de tamaño son los adecuados para una correcta discriminación táctil entre ellos.

Entre los diferentes perfiles de usuarios (invidentes, videntes y deficientes visuales) y sus errores con símbolos en 2D o bien en 3D no ha habido diferencias significativas cuando han realizado el experimento en una u otra situación (Gráfico 7). Cuando los participantes se han enfrentado al experimento para reconocer los símbolos en 2D o en 3D sus medias de errores entran en un rango de valores similar: en el caso de los errores en 2D, la media de un invidente ha sido de 1.19 (SD 1.44), mientras que en los videntes o deficientes visuales ha sido 1.89 (SD 1.78) y 2.00 (1.87), respectivamente; en el caso de los errores con los símbolos en 3D, las medias de los errores han sido menores y van de los 0.50 (SD 1.043) en el caso de los videntes a 0.84 (SD 1.12) en invidentes y 0.78 (SD 0.83) en deficientes visuales. Hecho que indica cierta homogeneidad en la muestra.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

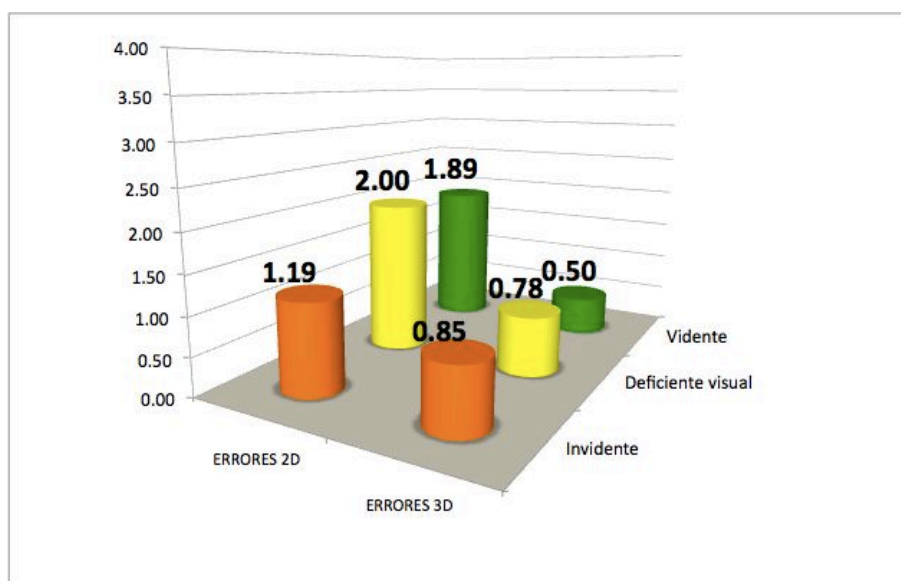


Gráfico 7: Distribución de errores según el tipo de deficiencia.

Ahora bien, si se aísla cada grupo de participante y se comparan sus resultados en ambas situaciones, es decir, si se comparan los errores que cada perfil de participante ha cometido cuando ha tratado de reconocer símbolos en 2D y en 3D, se encuentran diferencias significativas precisamente en el grupo de los usuarios videntes con un poder estadístico y tamaño de efecto altos. Éstos han percibido claramente mejor los símbolos en 3D que los símbolos en 2D. Posiblemente debido a que un usuario vidente jamás emplea el sentido del tacto para reconocer formas en relieve como las actuales (en 2D), mientras que un invidente o deficiente visual pueden estar más familiarizados con este tipo de fenómeno táctil, y por lo tanto sacar una mejor puntuación. En cualquier caso, todos los perfiles de participantes han realizado una media de errores menor con los símbolos en 3D que con los símbolos en 2D, aunque sólo son estadísticamente significativos en el caso ya nombrado, los usuarios videntes.

Por otro lado, en cuanto al análisis bajo el factor experiencia previa (Gráfico 8) con los dispositivos táctiles, se puede afirmar que resulta más fácil para un usuario sin experiencia o con poca experiencia táctil reconocer un símbolo en 3D que uno 2D, como se demuestra con los datos obtenidos del grupo de participantes que más han reducido sus errores entre el empleo de un tipo de símbolos u otros, es el caso de los participantes con cierto grado de experiencia, quienes han disminuido hasta en un 80% los errores cometidos cuando han tratado de reconocer los símbolos en 3D. Además con un poder y tamaño de efectos altos. Así, desde la óptica del aprendizaje, estos

datos podrían interpretarse afirmando que para una persona sin experiencia previa con los dispositivos táctiles, le resulta más fácil reconocer, de entrada, una forma tridimensional que una bidimensional en relieve, sin embargo un usuario experto no es tan sensible a estas situaciones.

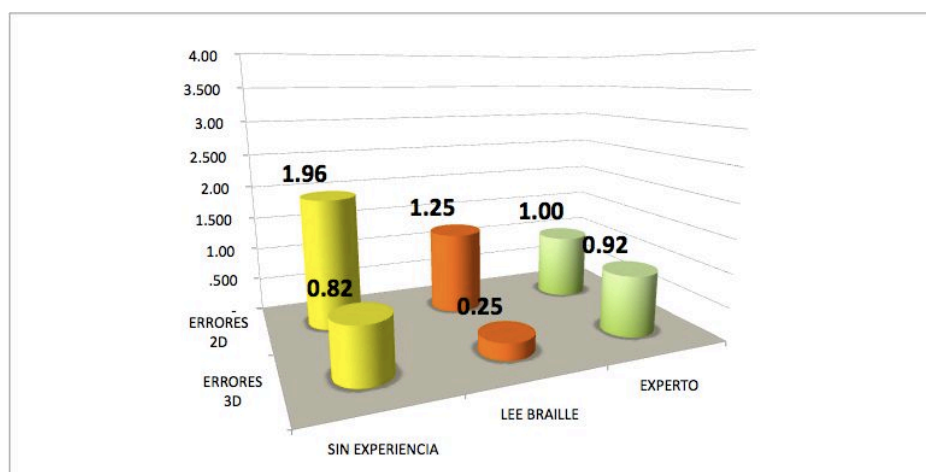


Gráfico 8: Media de errores totales según el tipo de símbolo y el perfil del usuario: Invidente, Deficiente visual y Vidente.

Ahora bien, internamente, dentro de cada grupo de símbolos no ha habido diferencias significativas entre los usuarios según su experiencia previa. Los usuarios expertos han obtenido una mejor media reconociendo los símbolos en 2D (1.00 (SD1.16)) y los inexpertos la mayor media de errores (1.96 (SD 1.66)), hecho que no ha sucedido cuando se han reconocido los símbolos en 3D, en este caso aquellos participantes con un poco de experiencia han sido los que mejores resultados han obtenido (0.25 (SD0.62)) y los expertos, los que más se han equivocado (0.92 (SD 1.18)). Aún así, el peor resultado de reconocimiento táctil con los símbolos en 3D (0.92 en el grupo de expertos) es mejor que el resultado más positivo obtenido con los símbolos en 2D (1.00 en expertos también). Estos datos indican que los usuarios expertos se encuentran condicionados por su relación previa con la tipología de símbolos tradicional en 2D, la cual la reconocen con más facilidad y rapidez que sus colegas. Sin embargo, respecto a los símbolos en 3D, aunque los reconocen un poco mejor que los de 2D, no los perciben tan bien como los otros participantes y suelen precipitarse en la contestación proporcionada en algunos tests. En este sentido, la mayor rapidez en la exploración táctil combinada con una mayor auto-confianza han conducido en algunas ocasiones a que los participantes expertos cometan errores de percepción al trabajar con símbolos en 3D, hecho que expone cómo las inercias de la costumbre y el aprendizaje previo condiciona la interacción con los dispositivos táctiles.

7.4.2. SEGÚN LOS SÍMBOLOS TÁCTILES

Si se analizan los datos obtenidos individualmente, desde cada símbolo ("O"; "V o cabeza de flecha"; Pirámide; y Anillo) lo primero que sorprende es alto índice de aciertos, con más de un 90%, en todos los casos (Gráfico 9). Ahora bien, bajo un criterio como el de Nancy S. Amick, Jane M. Corcoran, Sally Hering y Diane Nousanen (Amick et al., 2002) que supone que si los símbolos se perciben correctamente en un 95% de las ocasiones, pueden ser empleados en el diseño y uso de un plano táctil, sólo dos símbolos de los analizados darían garantías de funcionar correctamente en un plano táctil: el símbolo Pirámide y la "O". Los datos obtenidos con el símbolo "O", la circunferencia, no sorprenden en tanto diversos estudios toman este símbolo en consideración (Goodrick, 1987; Nolan & Morris, 1971; Edman, 1992; NCA, 1985; Renner, 1993), hecho que demuestra su eficiencia como elemento táctil. La novedad de este resultado se centra en el símbolo tridimensional Pirámide, ya que nunca había sido evaluado antes y sus resultados han sido incluso mejores que los de un símbolo tan contrastado en el estado del arte como la "O".

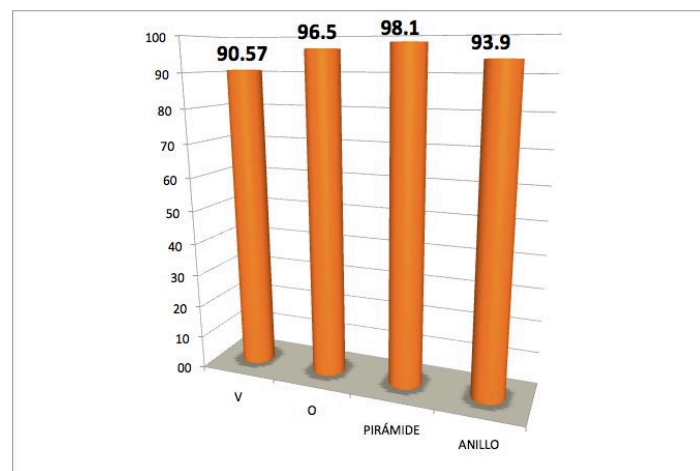


Gráfico 9: Media de porcentaje de aciertos según los símbolos táctil.

Al comparar los resultados obtenidos por pares de símbolos, teniendo en cuenta todas las combinaciones posibles, el símbolo "V o cabeza de flecha" es significativamente diferente al resto debido a su menor número de aciertos. En el otro extremo se encuentran los símbolos Pirámide y la "O", siendo la pirámide la que mejor sale parada de las comparaciones con el resto de símbolos ya que, a excepción de la comparación con el símbolo "O", con el resto de símbolos se obtienen diferencias significativas que muestran su potencial como posible elemento en 3D a emplear en planos táctiles. Por último, cabe indicar que el símbolo Anillo y la "O" obtienen en su comparativa

un resultado que indica que no hay diferencias entre ellos, es decir que son similares.

Ahora bien, en este experimento se han evaluado un grupo de símbolos táctiles fuera de su contexto de uso, es decir, sin estar aplicados a un plano táctil o gráfico tangible. Conviene corroborar los datos obtenidos en este experimento con un análisis de este tipo de símbolos aplicados a un plano táctil, para observar si las diferencias y similitudes encontradas se prolongan en un contexto de uso concreto y aplicado. Los experimentos posteriores C, D y E tratarán de abordar, precisamente, este tema: su funcionamiento en un plano táctil. El Experimento C, Memorización háptica aplicados a una leyenda modelo y al uso de la memoria háptica y los experimentos D y E a dos planos táctiles propuestos dentro del ámbito de esta tesis, el patrimonio cultural construido.

7.5. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA

A continuación se exponen los datos obtenidos tras la realización del Experimento C, Memorización háptica de este estudio.

Como se aprecia en la Tabla siguiente (Tabla 30), la media de errores obtenida en la Leyenda 1 ha sido de 1.95 (SD 2.02) frente a 1.00 (SD 1.28) en la Leyenda 2. Con una reducción de errores total en la Leyenda 2 del 48.72%. Visto desde otra perspectiva, la media de aciertos en la Leyenda 1 ha sido del 75.62%, mientras que en la Leyenda 2 ha sido del 87.50 %. Estos resultados tienen significancia estadística en tanto su *p-valor*, según el *test de Wilcoxon*, es de 0.014, su *tamaño de efecto* calculado ha sido mediano (0.53), mientras que la potencia (*poder*) es media-alta (0,72).

	N	Media	SD
LEYENDA 1	20	1.95	2.012
LEYENDA 2	20	1.00	1.376

Tabla 30: Medias y Desviación estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica.

En las medias de errores obtenidas por las distintas tipologías de usuario, los participantes videntes han obtenido una media de errores de 1.50 en la Leyenda 1 frente al 0.33 en la Leyenda 2, siendo los participantes con deficiencia visual los que han registrado una media de errores más alta en la memorización de las dos leyendas (3.00 en Leyenda 1 y 1.50 en Leyenda 2)(Tabla 31). Por otro lado, la reducción de errores en su proceso de memorización, de la Leyenda 2 respecto a

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

la 1, ha sido del 33.33% en Invidentes; del 50% en Deficientes Visuales y de un 78% en Videntes. Aunque, de los resultados de las pruebas estadísticas se señala que estas diferencias no tienen relevancia en ninguna de las dos leyendas (*Test de Kruskal Wallis*: $p\text{-valor}= 0.55$ en Leyenda 1; $p\text{-valor}= 0.49$ en Leyenda 2).

		N	Media	SD
LEYENDA 1	Invidente	10	1.80	1.932
	Deficiente Visual	4	3.00	2.449
	Vidente	6	1.50	1.975
LEYENDA 2	Invidente	10	1.20	1.476
	Deficiente Visual	4	1.50	1.915
	Vidente	6	0.33	0.516

Tabla 31: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según el tipo de participante.

En relación con los resultados obtenidos según la experiencia previa de los participantes con el uso de dispositivos táctiles, se aprecia que los usuarios expertos han obtenido una media de 1.00 en la Leyenda 1 y de 0.3 en la Leyenda 2 (Tabla 32). Los usuarios sin experiencia táctil son el grupo que ha obtenido peores resultados en ambos casos, 2.40 en la Leyenda 1 y 1.40 en la Leyenda 2. En los tres grupos de participantes se obtuvo mejores resultados empleando la Leyenda 2, con una reducción de errores en su proceso de memorización del 41.67% en usuarios sin experiencia; del 55.56 % en aquellos que poseen un poco de experiencia (leen Braille) y; por último, del 67.00 % en los usuarios expertos. En cualquier caso, un análisis estadístico más concreto indica que esas diferencias no tienen significancia estadística (*Test de Kruskal Wallis*: $p\text{-valor}= 0.36$ en Leyenda 1; $p\text{-valor}= 0.29$ en Leyenda 2).

		N	Media	SD
LEYENDA 1	Usuario sin experiencia	10	2.40	2.503
	Lee Braille	4	2.25	1.500
	Usuario experto	6	1.00	1.095
LEYENDA 2	Usuario sin experiencia	10	1.40	1.647
	Lee Braille	4	1.00	1.155
	Usuario experto	6	0.33	0.816

Tabla 32: Medias y Desviación Estándar de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la experiencia previa del participante.

7.6. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA

Como se aprecia en los resultados obtenidos, en la memorización de la Leyenda 2 se han producido menos errores en general (Gráfico 10), una media de: 1,95 (SD 2,02) frente a 1,00 (SD 1,38) en la Leyenda 1. Además, con una diferencia significativa desde el punto de vista estadístico (p -valor= 0.014; $poder$ = 0.72).

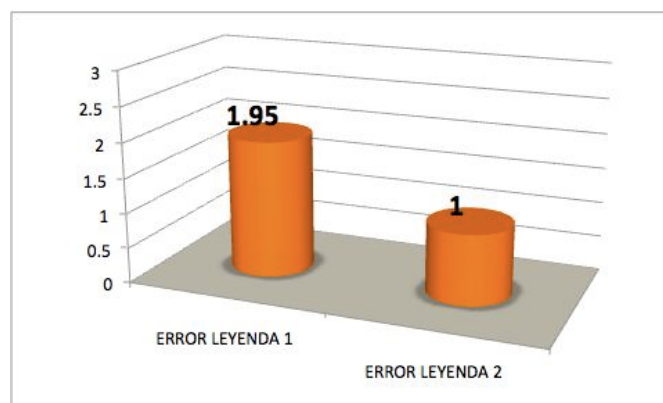


Gráfico 10: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la leyenda empleada.

De esta manera, se observa que en todos los casos estudiados, es decir, en el total y en los segregados por tipología de usuario y grado de experiencia previa, los resultados han sido más positivos en el proceso de memorización de los símbolos en la Leyenda 2 (Gráficos 11 y 12). Esta leyenda presentaba los símbolos táctiles agrupados en dos bloques, un primero con símbolos volumétricos y un segundo bloque con los símbolos planos, con lo que se acentuaba el contraste formal al tacto entre símbolos y se facilitaba la correcta discriminación, siguiendo los principios de

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Schiff sobre reconocimiento táctil (Nolan & Morris, 1971). Hecho, este último, que no se contemplaba en la Leyenda 1, la cual presentaba todos los símbolos del mismo carácter, es decir, en relieve plano o casi plano y que, como se ha demostrado en el experimento, produce más errores en los participantes, pues, entre otros aspectos, no pueden emplear la estrategia de agrupar los símbolos por formas para facilitar la memorización debido a que existe menos matices volumétricos de diferenciación y, por lo tanto, de discriminación.

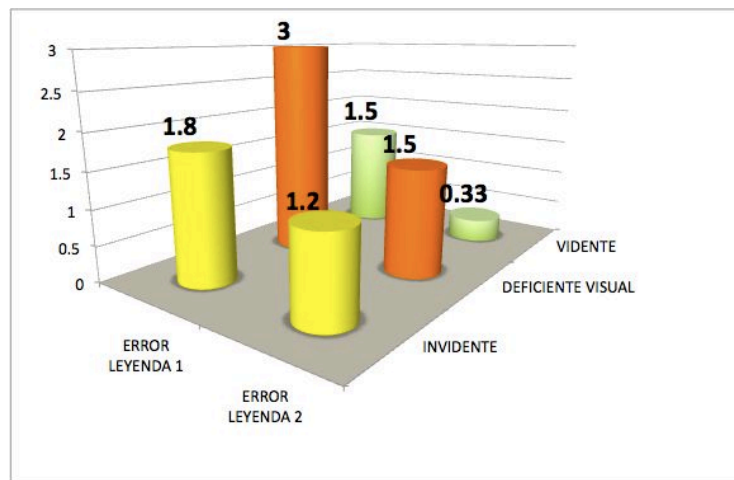


Gráfico 11: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según el tipo de participante.

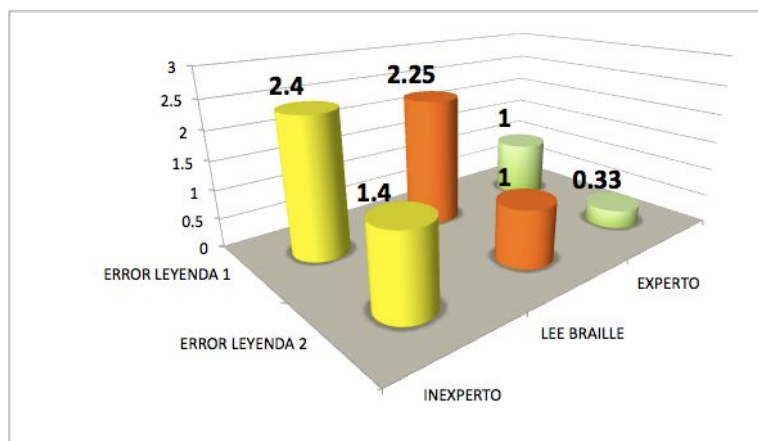


Gráfico 12: Medias de los errores cometidos en el Experimento C, Memorización háptica según la experiencia previa del participante.

Además, se debe observar que los datos indican que el grupo más beneficiado según su deficiencia visual han sido, sorprendentemente y por su mayor reducción porcentual de errores, los usuarios videntes. Hecho que podría deberse a que éstos emplean también la memoria visual de

una manera más acentuada que el resto de participantes para la memorización de las formas al tacto.

En el caso de la experiencia previa con estos dispositivos, como cabía esperar, los usuarios expertos, es decir, aquellos que emplean más a menudo la memoria háptica por su mayor relación con los gráficos tangibles, son los que más se han beneficiado del uso de la Leyenda 2, por su mayor reducción porcentual de errores.

Ahora bien se ha de señalar también que estos datos, los referentes a la tipología de usuarios y su experiencia, no tienen significancia estadística. Aunque el porcentaje reducción de ambos casos en los grupos más beneficiados, 78% en los videntes y 67% en los participantes expertos, hace pensar que, con una muestra más amplia, podrían detectarse ciertas diferencias significativas. Hecho que debería probarse en futuros experimentos.

7.7. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO

Los resultados que a continuación se exponen se han agrupado en tres bloques que muestran los datos obtenidos en el Experimento D, Plano táctil urbano. En el primer bloque se exponen los datos obtenidos en la Tarea 1 consistente en localizar y contar un símbolo con similares características en ambos planos. En el segundo bloque se muestran los resultados del resto de tareas (2, 3 y 4) internamente, es decir, para cada grupo por separado con el fin de observar la existencia o no de diferencias según el perfil de participante y su experiencia previa con estos productos. Por último, en el tercer bloque se exponen los datos para las tareas 2, 3 y 4, pero mediante un formato de comparación entre grupos tanto a nivel general, como haciendo distinción al perfil y sus conocimientos previos con estos dispositivos.

Las pruebas estadísticas empleadas han sido el *test de Mann Whitney* y el *de Kruskal Wallis* con un nivel de confianza $\alpha = 0.05$.

7.7.1. CASO 1. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. TAREA 1. BOCA DE METRO.

En la primera tarea de contar los símbolos que representan la entrada-salida del metro, se aprecia una media de errores muy similar entre ambos grupos (Tabla 33). El *test de Mann Whitney* indica que la diferencia entre ellos no puede considerarse estadísticamente significativa.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

	N	Media	SD
Grupo 1	28	1.39	1.066
Grupo 2	28	1.57	1.136
Mann Whitney test	p-valor= 0.599		

Tabla 33: Errores totales entre grupos en la realización de la Tarea 1.

7.7.2. CASO 2. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. TAREAS 2, 3 Y 4 INTRAGRUPOS SEGÚN SU PERFIL Y NIVEL DE EXPERIENCIA PREVIA

a. Grupo 1

El análisis interno de cada grupo para comparar los diferentes perfiles de participantes indica que los participantes invidentes emplearon menos tiempo dentro del Grupo 1 para realizar las Tareas 2, 3 y 4 (Tabla 34). El perfil de participante que más tiempo empleó para localizar los símbolos fue el de los videntes. Las diferencias encontradas son estadísticamente significativas. Destaca la alta Desviación Estándar, más del doble, del grupo de los videntes en relación al resto de participantes.

Analizando estos datos con más detalle mediante un análisis por pares entre perfiles se observa que el tamaño de efecto entre Invidentes-Videntes es alto (*tamaño de efecto*= 1.10), aunque el poder en este contraste no es mayor de 0.8 (*poder*=0.68). Sin embargo, en el par comparativo entre Invidentes-Deficientes visuales, el tamaño de efecto es muy alto (*tamaño de efecto*= 2.03) con un poder superior al 0.8 (*poder*= 0.98). En este último caso se puede hablar de diferencias estadísticamente significativas (*test de Mann-Whitney*: *p-valor*= 0.003).

Tipo de deficiencia	N (Válido)	Media	SD
Invidente	14	33.83	21.821
Deficiente visual	6	81.22	24.804
Vidente	6	84.69	61.546
Kruskal Wallis test	p-valor= 0.023		

Tabla 34: Media de tiempos de localización en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4.

En cuanto a los tiempos medios obtenidos según la experiencia previa de los participantes. En el Grupo 1 se aprecia un patrón lógico en el rango de resultados, los usuarios expertos han realizado las tareas en menos tiempo, y los participantes que más tiempo han necesitado para llevar a cabo las pruebas han sido, precisamente, los inexpertos (Tabla 35).

En cualquier caso, según el test estadístico de *Kruskal Wallis* estas diferencias no puede considerarse estadísticamente significativas en su comparativa general, ni tampoco en su comparati-

va entre pares (*p*-valores del *test de Mann-Whitney*; Inexperto-lee Braille= 0.315; Inexperto-experto= 0.263; Experto-lee Braille= 0.073).

Experiencia previa	N	Media	SD
Inexperto	10	77.57	54.974
Lee Braille	10	51.93	23.905
Experto	6	29.02	21.535
Kruskal Wallis test	<i>p</i> -valor= 0.194		

Tabla 35: Media de tiempos de localización según la experiencia previa de los participantes en el Grupo 1.

Si se observan los errores cometidos dentro del Grupo 1 (Tabla 36), se aprecia un patrón de similitud entre todos. El perfil de participante que menos errores cometió fue el de Invidentes, y el que más errores cometió el de videntes.

Aunque, las diferencias obtenidas no pueden considerarse significativas, encontrándose todas ellas en un rango entre 0.42 y 0.48, prácticamente idénticas. En su comparativa por pares (*test de Mann-Whitney* tampoco se han apreciado diferencias significativas (Invidente-deficiente visual: *p*-valor= 0.622; Vidente-Invidente= 0.630; Deficiente visual-vidente=0.863).

Tipo de deficiencia	N	Media	SD
Invidente	15	0.42	0.367
Deficiente visual	6	0.44	0.272
Vidente	7	0.48	0.378
Kruskal Wallis test	<i>p</i> -valor= 0.805		

Tabla 36: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de usuarios dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4.

Respecto a los errores cometidos dentro del Grupo 1 relativos al factor experiencia, los datos indican de nuevo un rango de valores que continúa un patrón lógico en el que los usuarios expertos han cometido menos errores y los inexpertos han sido el perfil de participante que más errores ha realizado (Tabla 37). Estos datos son estadísticamente significativos según el *Test de Kruskal Wallis*.

Ahora bien, el análisis detallado de los diferentes perfiles revela que la diferencia entre usuarios expertos e inexpertos es estadísticamente significativa con un poder estadístico y tamaño de efecto altos (*Mann-Whitney test*: *p*-valor= 0.015; poder= 0.94; tamaño de efecto= 1.62), mientras que el resto de pares, sin embargo, parecen obtener datos similares (Inexperto-lee Braille: *p*-valor= 0.171; Experto-lee Braille: *p*-valor= 0.462).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Experiencia Previa	N	Media	SD
Inexperto	11	0.58	0.262
Lee Braille	11	0.42	0.424
Experto	6	0.22	0.172
Kruskal Wallis test	p-valor= 0.049		

Tabla 37: Tabla comparativa entre los errores cometidos en el Grupo 1 en función de la experiencia previa de los participantes con los dispositivos táctiles.

b. Grupo 2

Los datos del Grupo 2 muestran que el tipo de participantes que menos tiempo emplearon en realizar las Tareas 2, 3 y 4 fue el de las personas invidentes (Tabla 38), datos estadísticamente significativos. Los participantes videntes fueron los que más tiempo emplearon y lo hicieron con una desviación estándar más de dos veces mayor que el resto. En el Grupo 2 todos los participantes realizaron, al menos, una de las tareas 2, 3 y 4, sin errores, hecho que permitió que el N (válido) sea el total de la muestra empleada.

Por otro lado, el análisis por pares entre perfiles de participantes desvela diferencias importantes entre el par Invidente-Videntes (*test de Mann Whitney*: *p-valor*= 0.001) con un *tamaño de efecto* y *poder* altos (*tamaño de efecto*=1.33; *poder*=0,91). El par Invidente-Deficiente Visual tienen un *tamaño de efecto* medio-alto (0.75), aunque el *poder* es menor de 0.8 (*poder*= 0.57), su *p-valor*= 0.199.

Tipo de deficiencia	N (válido)	Media	SD
Invidente	15	12.66	11.127
Deficiente Visual	4	21.50	12.515
Vidente	9	44.24	31.669
Kruskal Wallis test	p-valor= 0.006		

Tabla 38: Media de tiempos de localización (Tareas 2, 3 y 4) en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2.

En cuanto a la media de tiempos obtenido dentro del Grupo 2 y a su relación con el factor experiencia, se observa que los usuarios con experiencia fueron los que realizaron las tareas en un menor intervalo de tiempo, mientras que aquellos que no habían tenido contacto nunca con dispositivos táctiles tales como mapas en relieve resultaron ser los que más tiempo emplearon, hasta tres veces más (Tabla 39). Estos datos, después de realizar el test de *Kruskal Wallis* son estadísticamente significativos debido a su *p-valor* menor de 0.05.

En un análisis más profundo de esta diferencia entre grupos, es decir, mediante una compara-

tiva de datos entre perfiles se observan diferencias estadísticamente significativas entre participantes expertos e inexpertos (*test de Mann-Whitney*: $p\text{-valor}= 0.008$) con un *poder* estadístico alto (0.81) y un alto *tamaño de efecto* (1.10).

Experiencia Previa	N	Media	SD
Inexperto	15	33.81	28.148
Lee Braille	5	16.23	15.444
Experto	8	10.70	9.742
Kruskall Wallis test	$p\text{-valor}= 0.023$		

Tabla 39: Tabla resumen con los tiempos medios de cada perfil de participante dentro del Grupo 2.

Por último, si se analizan los errores obtenidos en de las Tareas 2, 3 y 4 del Grupo 2 se obtiene que los perfiles de participantes que menos errores realizaron fueron los usuarios con deficiencia visual. Los participantes invidentes fueron los que más errores realizaron (Tabla 40). Aunque el test de *Kruskall Wallis* indica que las diferencias de los errores cometidos entre perfiles de usuarios no son estadísticamente significativas.

Tipo de deficiencia	N	Media	SD
Invidente	15	0.27	0.338
Deficiente Visual	4	0.08	0.167
Vidente	9	0.22	0.289
Kruskall Wallis test	$p\text{-valor}= 0.652$		

Tabla 40: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2.

El análisis de los errores cometidos desde el factor experiencia previa indica que no existen diferencias significativas dentro del Grupo 2 a pesar de que de nuevo el perfil de los usuarios expertos fue el mejor resultados obtuvo (Tabla 41). Aunque cabe destacar en este caso que los usuarios inexpertos obtuvieron unos valores parecidos al de los expertos.

El análisis por pares de los errores dentro de este grupo tampoco parece arrojar luz a la investigación, ya que no se encontraron diferencias en ninguna de las posibles comparaciones (Inexperto-lee Braille: $p\text{-valor}= 0.098$; Inexperto-experto: $p\text{-valor}= 0.875$; experto-lee Braille: $p\text{-valor}= 0.171$).

	N	Media	SD
Inexperto	15	0.18	0.278
Lee Braille	5	0.47	0.298
Experto	8	0.17	0.309
Kruskall Wallis test	$p\text{-valor}= 0.132$		

Tabla 41: Media de errores cometidos dentro del Grupo 2 según el factor experiencia.

7.7.3. CASO 3. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. TAREAS 2, 3 Y 4 ENTRE GRUPOS

En las Tareas 2, 3 y 4, la media de tiempos totales en localizar los símbolos muestra una diferencia estadísticamente significativa con un tamaño de efecto y poder altos. Se aprecia que el Grupo 1 ha empleado más del doble de tiempo de media en localizar los símbolos previstos en las Tareas 2, 3 y 4 (Tabla 42). Por otro lado, observando el N (válido), todos los participantes del Grupo 2 localizaron al menos un símbolo de los tres propuestos. Mientras que en el Grupo 1 hubo dos participantes que no localizaron ninguno de los tres símbolos.

Grupo	N (válido)	Media	SD
Grupo 1	26	52.75	45.920
Grupo 2	28	21.50	26.460
Mann Whitney test	$p\text{-valor}= 0.001$; $\text{tamaño del efecto}= 0.83$; $\text{poder estadístico}= 0.90$		

Tabla 42: Estadísticos y p-valor de los tiempos empleados en la localización de símbolos (Tareas 2, 3 y 4) según el tipo de plano.

En lo relativo a errores cometidos, el Grupo 1 ha cometido prácticamente el doble de errores que el Grupo 2 (Tabla 43). El *test de Mann Whitney* indica que la diferencia es estadísticamente significativa con un *tamaño de efecto* medio y un *poder* alto.

Grupo	N	Media	SD
Grupo 1	28	0.44	0.340
Grupo 2	28	0.23	0.302
Mann Whitney test	$p\text{-valor}= 0.016$; $\text{tamaño del efecto}= 0.67$; $\text{poder estadístico}= 0.91$		

Tabla 43: Media de errores cometidos en ambos grupos en las tareas 2, 3 y 4.

a. Comparativa entre grupos por tipo de participante

Si se comparan ambos grupos únicamente por tipo de participante, se aprecia una disminución de tiempo y errores en todos los perfiles de usuarios en el Grupo 2 (Tablas 34, 36, 38 y 37). Después de realizar el *test de Mann Whitney* y calcular su *tamaño de efecto* y *poder*, se obtienen los siguientes datos:

- La reducción del tiempo en el caso de los invidentes posee un $p\text{-valor}$ de 0.001; un *tamaño de efecto* de 1.22; y un *poder* de 0.93. En el contraste entre deficientes visuales los resultados estadísticos son: $p\text{-valor}= 0.011$; $\text{tamaño de efecto}= 3,04$; $\text{poder}= 0.99$. En el caso de los videntes el $p\text{-valor}$ indica que no existe diferencias ($p\text{-valor}=0.272$); aunque poseen un *tamaño de efecto* grande ($\text{tamaño de efecto}= 0,83$); $\text{poder}= 0.422$.
- Respecto la reducción de errores, el *test de Mann Whitney* indica que no hay diferencias

estadísticamente significativas entre los tipos de participantes de ambos grupos. Tan sólo el grupo de los participantes con deficiencia visual presentan un *tamaño de efecto* grande (*tamaño de efecto*= 1.60) y un *poder* próximo a 0.8 (*poder*= 0.71).

b. Comparativa entre grupos por experiencia previa

Después de realizar el análisis entre grupos de los perfiles de participantes según su experiencia previa (Tablas 35, 37, 39 y 41) se obtienen los siguientes resultados:

- La reducción de tiempos entre el Grupo 1 y 2 en todos los usuarios, según su experiencia, es de más de la mitad. El test estadístico de *Man Whitney* indica que no hay diferencias significativas en los participantes inexpertos con un *p-valor* de 0.09, aunque se obtienen un *poder* estadístico alto (0.80) y un *tamaño de efecto* alto (1.00) que indican que con una mayor muestra posiblemente se vislumbrarían diferencias. En el apartado de los participantes que saben leer Braille pero no tienen un gran contacto con los productos en relieve, la diferencia encontrada es estadísticamente significativa con un *p-valor* de 0.008 y con un *poder* y *tamaño de efecto* altos, 0.94 y 1.77 respectivamente. Los usuarios expertos por su parte también denotaron diferencias destacables con un *p-valor* de 0.013; aunque no con un alto *poder* (0.64), pero sí con un alto *tamaño de efecto*=1.09.
- Respecto a la reducción de errores, el test de *Mann Whitney* expone que los participantes inexpertos obtuvieron diferencias significativas entre grupos con un *p-valor* de 0.002, una potencia (*poder*) y un *tamaño de efecto* altos, 0.98 y 1.47 respectivamente. Los participante que tenían un poco de experiencia porque leían el código Braille sin embargo no mostraron diferencias entre ambas situaciones (*p-valor*= 0.827; potencia-*poder*= 0.082 y *tamaño de efecto*= 0.13) sino un comportamiento similar. Por último, con los participantes expertos tampoco se obtuvieron datos que muestren diferencias significativas (*p-valor*= 0.491), con un *poder* de 0.10 y un *tamaño de efecto* bajo (0.199).

7.8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO

En este experimento se ha tratado de observar si existen diferencias entre dos tipos de planos que contienen las mismas características, es decir, contienen la misma información y representan la misma área de una ciudad con el mismo tamaño y escala. La diferencia fundamental entre ellos es que han sido producidos con técnicas diferentes y diseñados acorde a las posibilidades de és-

tas. Así, el plano en Impresión en 3D (Plano B) expone la información empleando fundamentalmente elementos de diseño volumétricos (Wong, 1986), entre ellos símbolos táctiles que provienen de los prismas básicos. Mientras que en el Plano A se han empleado únicamente elementos de diseño gráfico, es decir, elementos con un relieve plano: elementos puntuales, lineales y áreas (Amick et al., 2002; Edman, 1992). Para ello dos grupos de participantes independientes han realizado una serie de tareas en ambos planos con el fin de detectar algunas posibles diferencias entre ellos: el Grupo 1 empleando el Plano A que exponía los símbolos en relieve plano, mientras que el Grupo 2 utilizando el Plano B con símbolos en la misma posición pero con carácter volumétrico (Prismas Básicos).

Primero se expone los datos obtenidos en el Caso 1 en el que se medían los errores cometidos por los participantes. Después se presentan los Casos 2 y 3, es decir, los datos que medían variables intragrupos e entre grupos respectivamente. En general, los datos del experimento indican diferencias significativas entre grupos y, por lo tanto, entre planos. Los participantes que han empleado el Plano B han reducido a menos de la mitad el tiempo empleado en realizar este tipo de tareas y también los errores cometidos en ellas.

La clave de la reducción de tiempos de localización y errores cometidos se basa en dos factores fundamentales del ámbito de la percepción táctil, uno el contraste de altura que facilita la localización de los elementos del plano (Nolan & Morris, 1971), en ocasiones, casi inmediata y otra, la facilidad en el reconocimiento y discriminación de formas geométricas tridimensionales básicas, en el caso de los símbolos táctiles empleados en el Plano B.

A continuación se expone el análisis de los tres casos:

7.8.1. CASO 1. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO

El primer aspecto que cabe destacar, es que en la Tarea 1 en la que se trataba de comparar los símbolos con relieve plano en ambos mapas (Símbolo Boca de metro), no se han apreciado diferencias en el comportamiento de los participantes, siendo los errores cometidos similares para ambos grupos cuando se está tratando símbolos de carácter plano en el mapa (Gráfico 13). Hecho que constata la homogeneidad entre grupos de la muestra, ya que se comportan de manera similar ante la misma situación tanto en un caso (con el Plano A), como en el otro (con el Plano B).

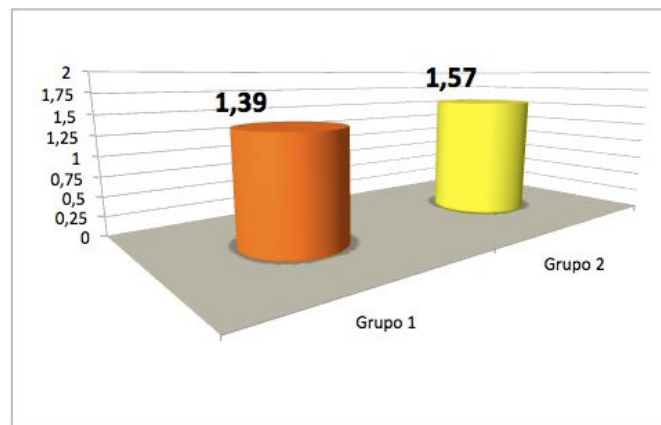


Gráfico 13: Errores totales entre grupos en la realización de la Tarea 1.

7.8.2. CASO 2. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. ANÁLISIS INTRAGRUPOS

a. Por perfil de participante

En relación al perfil de participante dentro de sus respectivos grupos, se debe señalar que los datos indican que en el tiempo de localización de símbolos, los participantes invidentes realizaron las tareas con un tiempo significativamente menor que el resto de usuarios (Gráficos 14 y 15).

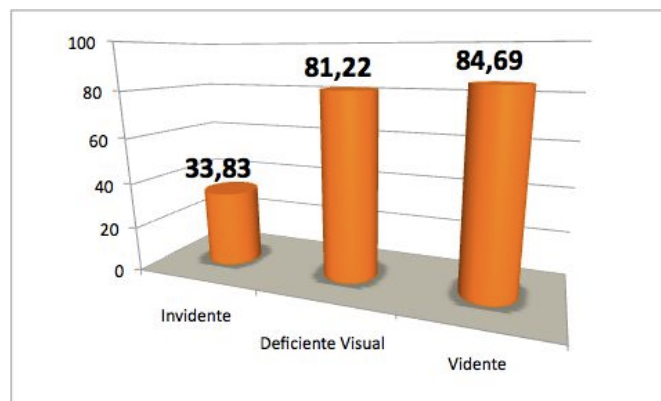


Gráfico 14: Media de tiempos de localización en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

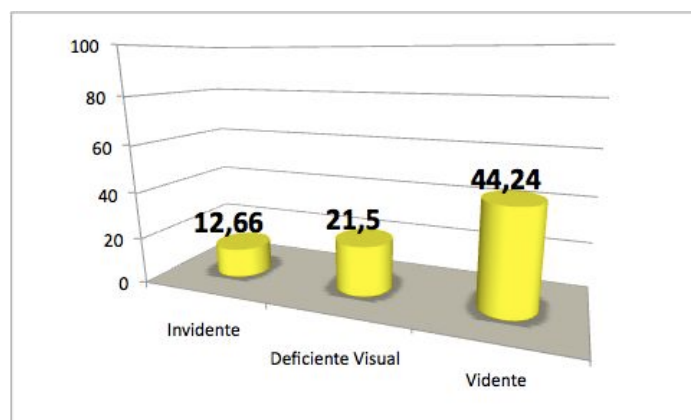


Gráfico 15: Media de tiempos de localización (Tareas 2, 3 y 4) en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2.

El patrón de resultados indica un orden similar en ambos grupos en el que las personas videntes necesitaron más tiempo para localizar los símbolos, seguidos de las personas con deficiencia visual y, por último los usuarios invidentes. Hecho más o menos lógico si se atiende a que posiblemente son los usuarios con un acercamiento a los productos táctiles más estrecho. Por otro lado, los participantes videntes tuvieron un comportamiento con mayor irregularidad, según muestra la Desviación Estandar.

Sin embargo, en el ámbito de los errores cometidos no se puede hablar de diferencias significativas en ninguno de los dos grupos (Gráficos 16 y 17). Aunque, según se observa en los datos recogidos, los diferentes perfiles de participantes que emplearon en el Grupo 1 la técnica de microencapsulado mantuvieron una curiosa similitud de resultados (0.42 en Invidentes; 0.44 en deficientes visuales y 0.48 en videntes). El Grupo 2, por su parte, enfatizó ciertas diferencias entre los grupos de invidentes (0.27)-videntes (0.22) y los deficientes visuales, siendo estos últimos los que mejores resultados obtuvieron (0.08).

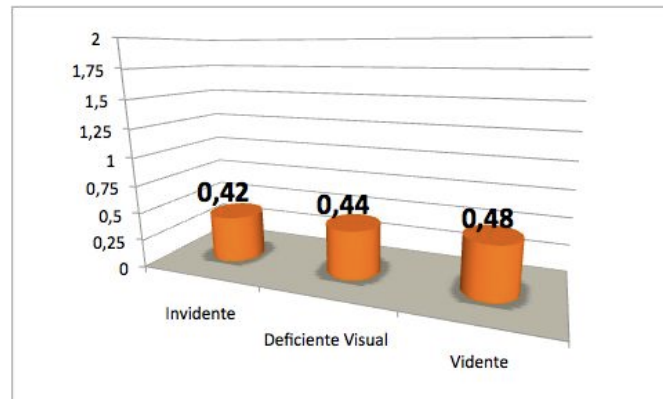


Gráfico 16: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de usuarios dentro del Grupo 1 en las Tareas 2, 3 y 4.

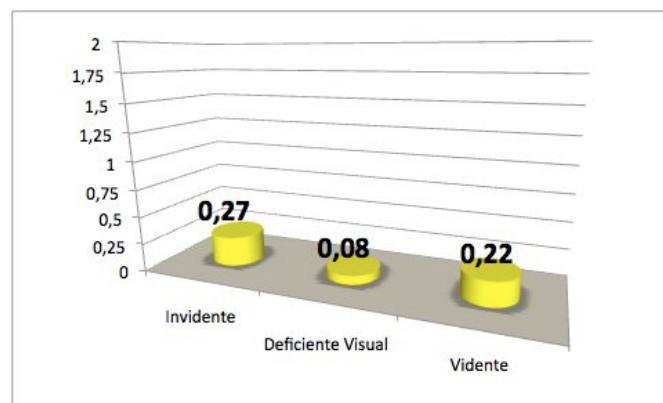


Gráfico 17: Media de errores cometidos en diferentes perfiles de participantes dentro del Grupo 2.

b. Según la experiencia del participante

Si se analizan los datos desde la perspectiva de los diferentes perfiles de usuarios participantes en el experimento en ambos grupos se observa un orden similar entre los tiempos obtenidos (Gráficos 18 y 19). Los que menos tiempo han empleado en la realización de las tareas han sido los usuarios expertos en ambos casos, seguidos de los participantes que leen Braille y, por último, los inexpertos. En el Grupo 1 sin que sus diferencias sean estadísticamente significativas, sin embargo en el Grupo 2 se ha encontrado que en el par comparativo entre participantes expertos (10.79 (SD 9.74)) e inexpertos (33.81 (SD 28.15)) sí que pueden considerarse sus tiempos de localización significativamente diferentes con un *poder* (0.81) y *tamaño de efecto* altos (1.10).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS



Gráfico 18: Media de los tiempos de localización según la experiencia previa de los participantes en el Grupo 1.

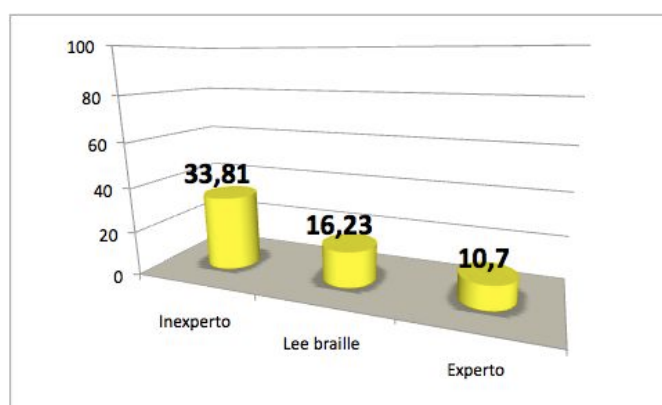


Gráfico 19: Gráfica resumen con los tiempos medios de cada perfil de participante dentro del Grupo 1.

Según la perspectiva de los errores de los participantes en cada grupo por separado y según su nivel de experiencia previa (Gráfico 20), en el Grupo 1 los que más errores cometieron fueron los participantes inexpertos (0.58), seguido de los que leen Braille (0.42) y, en último lugar, de los expertos (0.22). Si analizamos con un poco más de profundidad estos datos se puede observar que sí que existen diferencias significativas ($p\text{-valor}= 0.015$) en el uso del plano microencapsulado entre los perfiles de participantes expertos e inexpertos con un *poder* estadístico y *tamaño de efecto* altos (0.94 y 1.62 respectivamente).

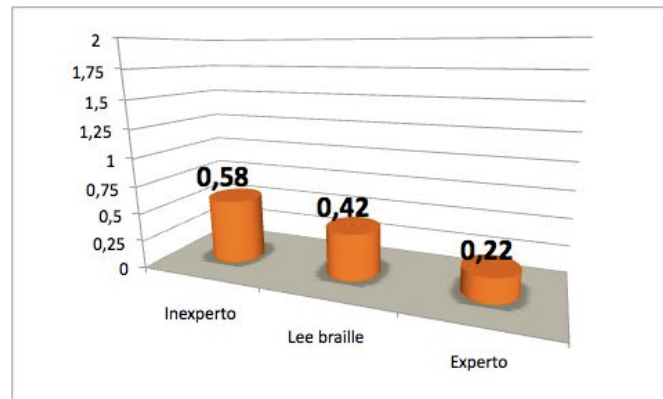


Gráfico 20: Gráfica comparativa entre los errores cometidos en el Grupo 1 en función de la experiencia previa de los participantes con los dispositivos táctiles.

Por su parte, en el Grupo 2 los resultados entre los participantes expertos e inexpertos es prácticamente idéntico (0.17 y 0.18 respectivamente), y en el perfil de los participantes que leen Braille ha habido una mayor diferencia (0.47) (Gráfico 21). Pero en este caso, las diferencias encontradas no pueden considerarse significativas desde la óptica estadística (Grupo 2: $p\text{-valor}=0.132$).

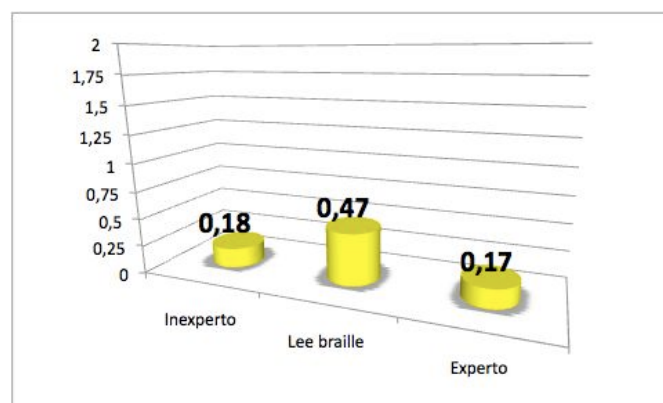


Gráfico 21: Media de errores cometidos dentro del Grupo 2 según el factor experiencia.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

7.8.3. CASO 3. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO. COMPARATIVA ENTRE GRUPOS

Observando tanto los los tiempos empleados (Gráfico 22), como los errores cometidos (Gráfico 23) se aprecia unas diferencias significativas.

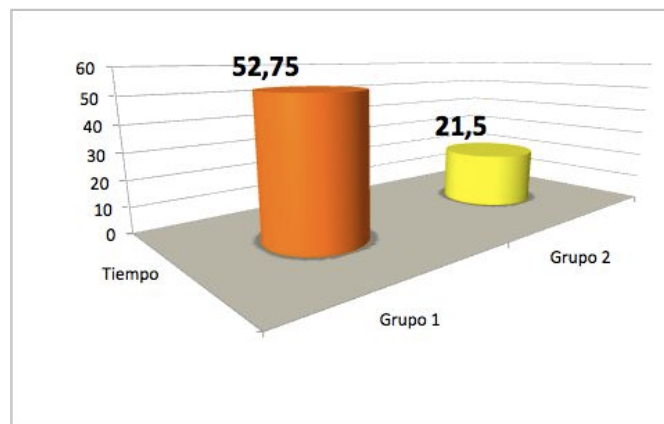


Gráfico 22: Tiempos empleados en la localización de símbolos (Tareas 2, 3 y 4) según el tipo de plano o grupo.

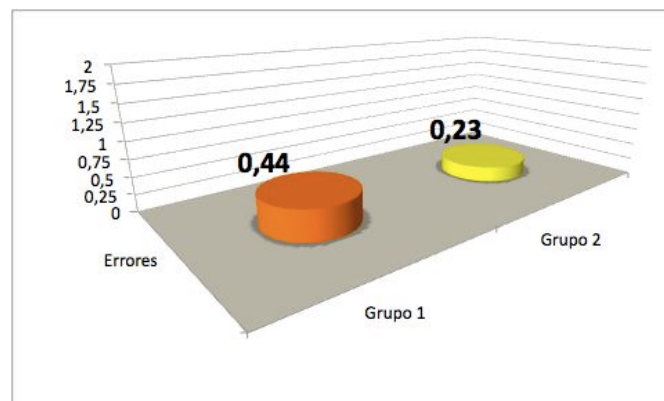


Gráfico 23: Media de errores cometidos en ambos grupos en las tareas 2, 3 y 4.

a. Por perfil de participante

Observando los resultados del tiempo medio de localización desde el prisma de los diferentes perfiles de usuarios que han participado en este experimento, se puede afirmar que existen algunas diferencias entre ambas situaciones (ambos planos) si se analizan éstas a partir del perfil de participante, ya que para las personas invidentes (Grupo 1, 33.83 (SD 21.82) vs. Grupo 2, 12.66 (SD 11.27)) y aquellas con deficiencia visual (Grupo 1, 81.22 (SD 24.80) vs. Grupo 2, 21.50 (SD 12.51)) se han obtenido sendos p valores menores de 0.05, con unos tamaños de efecto y poderes estadísticos altos. El perfil de participantes videntes, por su parte, parece obtener datos sin dife-

rencias estadísticas significativas en los tiempos de localización (Grupo 1: 84.69 (SD 61.55) vs. Grupo 2: 44.24 (SD 31.67); $p\text{-valor}=0.272$). Aunque, en este último caso, todo parece indicar, por el mayor rango de desviación estándar respecto a otros grupos, existe una mayor diversidad de resultados entre los participantes videntes independientemente del plano que usen, hecho que condiciona que la probabilidad de encontrar diferencias sea menor.

Si se analizan los datos desde la óptica de los errores cometidos, se observa que entre perfiles de usuarios no existen diferencias estadísticamente reseñables.

b. Según la experiencia previa

Por último, cabe mencionar los resultados obtenidos en las comparativas entre grupos de usuarios según su nivel de experiencia previa con los gráficos tangibles. En este sentido, respecto los tiempos medios empleados en ambos planos para localizar los símbolos correspondientes, los usuarios expertos (Grupo 1: 29.02 (SD 21.53) vs. Grupo 2: 10.7 (SD 9.74)) y aquellos que conocen el código Braille (Grupo 1: 51.93 (SD 23.90) vs. Grupo 2: 16.23 (SD 15.44)) denotaron diferencias estadísticamente significativas con unos *tamaños de efecto* altos en ambos casos (1.77 y 1.09 respectivamente). Sin embargo, el grupo de participantes inexpertos parece no exponer diferencias reseñables en el experimentos, aunque el $p\text{-valor}$ obtenido (0.09) muy próximo al 0.05, el *tamaño de efecto* alto (1.00) y el *poder* alto (0.8), parecen indicar que no se puede aceptar con seguridad la hipótesis de que son similares.

En cuanto a los errores cometidos, parece que sólo el grupo de participantes inexpertos muestran diferencias estadísticamente significativas, con un *tamaño de efecto* y *poder* altos, a la hora emplear un plano u otro. El resto de participantes obtuvieron indicadores estadísticos (*tamaño de efecto* y *poder* estadístico bajos) que señalan un similitud de comportamiento ante ambas situaciones (plano 1 y/o 2).

7.9. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

En este apartado se muestran y analizan los resultados obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior.

Las variables que se han medido son:

- En primer lugar, el tiempo (en segundos) que tardan los usuarios en localizar los símbolos: Inicio del recorrido (Tarea 1), Fin de recorrido (Tarea 2), Ascensor (Tarea 4), Chime-

nea (Tarea 7) y Zona tátil (Tarea 8).

- En segundo lugar, se ha medido la cantidad de errores que se cometen al localizar o contar los símbolos, ya sean por no haber sido localizados o por haber sido confundidos (falsos aciertos) en todos los casos: Inicio del recorrido (Tarea 1), Fin de recorrido (Tarea 2), Escalera (Tarea 3), Ascensor (Tarea 4), Pilar (Tarea 5), Acceso restringido (Tarea 6), Chimenea (Tarea 7) y Zona tátil (Tarea 8).

Para facilitar el proceso posterior de análisis se han agrupado las tareas por similitud de contenidos analizados. Así, los resultados quedan agrupados por los siguientes casos:

- **Caso 1:** Tareas 1, 4 y 7. Tareas en las que se mide el tiempo de localización y los errores cometidos entre símbolos que presentan diferencias formales en función del plano. Se exponen además los datos obtenidos según los factores de tipo de deficiencia y experiencia previa con dispositivos táctiles.
- **Caso 2:** Tareas 2 y 8. Tareas en las que se mide el tiempo de localización y los errores cometidos entre símbolos con similitudes formales en ambos planos. Se exponen además los datos obtenidos según los factores de tipo de deficiencia y experiencia previa con dispositivos táctiles.
- **Caso 3:** Tareas 3, 5 y 6. Tareas consistentes en contar la cantidad de símbolos en ambos planos, sin atender al tiempo de localización, sino a los errores cometidos entre símbolos que presentan diferencias formales en función del plano. Se exponen además los datos obtenidos según los factores de tipo de deficiencia y experiencia previa con dispositivos táctiles.
- **Caso 4.** Tareas 1-4. Con este caso se pretende observar las diferencias o similitudes en los resultados entre símbolos que representan una traducción directa del lenguaje gráfico al relieve, con símbolos que no provienen de una convención visual o no tienen un significado concreto atribuido por un código más o menos establecido (código de representación en edificación).

Cabe observar que para la medida del tiempo en los diferentes casos, la diferencia de la muestra N en función del plano, teniendo en cuenta que el total de usuarios por grupo es 23, se debe a que algunas mediciones no se llevaron a cabo debido a los errores cometidos por los participantes. Este hecho se repite en todos los casos en los que se estudia el tiempo de localización.

7.9.1. CASO 1. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TAREAS 1, 4 Y 7

a. Resultados generales Obtenidos

En la **Tabla 44** se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.





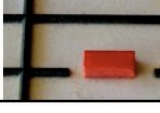

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de localización de símbolos con diferentes características (2D vs.3D) en cada plano
Tarea 1			Localización de símbolo Inicio del recorrido
Tarea 4			Localización de símbolo Ascensor
Tarea 7			Localización de símbolo Chimenea

Tabla 44: Tareas en las que se ha medido el tiempo de localización y errores cometidos cuando los participantes de diferentes grupos tuvieron que localizar los símbolos evaluados con diferentes características dependiendo del plano.

A continuación se muestran en diferentes tablas (**Tablas 45 y 46**) los resultados obtenidos para el Caso 1.

En relación al tiempo que los participantes han empleado para la realización de las tres tareas analizadas, se observa que el Grupo 1, el correspondiente al Plano A, ha realizado este tipo de tareas en un menor intervalo de tiempo (**Tabla 45**) y con un menor índice de errores (**Tabla 46**). En general la reducción de tiempo que se ha producido entre un grupo y otro es del 70%, mientras que en los fallos totales cometidos la reducción producida supera al 90 %. El *test de Mann Whitney* indica que ambas comparaciones son estadísticamente diferentes y significativas con un *p-valor* muy por debajo de 0.05. En el caso del tiempo el *tamaño del efecto* es muy alto (1.7) y su *poder* estadístico también (0.99). En el caso de la variable error se repite la validez de la variable anterior y el *tamaño de efecto* también es muy alto (1.93), así como su potencia (*poder*) (0.99).

Caso 1 tiempo	N	Media	SD
Grupo 1	23	21.33	15.931
Grupo 2	21	72.31	39.424

Tabla 45: Distribución de tiempos medios de localización entre grupos en la realización de las Tareas 1, 4 y 7: Media y Desviación estándar.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Caso 1 error	N	Media	SD
Grupo 1	23	0.029	0.096
Grupo 2	23	0.420	0.270

Tabla 46: Media de errores totales cometidos por cada grupo en la realización de las Tareas 1, 4 y 7: Media y Desviación estándar.

b. Observación Directa

En relación a la observación directa, se ha apreciado que el tamaño del símbolo juega un papel fundamental para su mejor localización, por ejemplo, en la Tarea 7, tanto en un grupo como en otro se han obtenido mejores tiempos de localización debido a que se trata de símbolos de mayor tamaño que los representados en la Tarea 1 y 4, y por lo tanto más fáciles de percibir.

Por otro lado, algunos errores de percepción se cometieron, por ejemplo, al confundir en el Plano B, el símbolo Chimena con el Símbolo de la Zona Táctil, debido a ciertas similitudes formales, aunque se representen con texturas, orientación y tamaños diferentes. Por último, algunos participantes del Grupo 2 advirtieron de la dificultad para percibir y comprender el símbolo que representa el Ascensor.

c. Datos entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 1

En las siguientes tablas (Tablas 47 - 50) se muestran los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 1) comparando ambos grupos independientes en función de su perfil y su experiencia previa. Según se analizan estos datos se indican los datos estadísticamente significativos encontrados en los contrastes efectuados. Las variables que se han tenido en cuenta han sido el tiempo de localización y los errores cometidos.

Datos entre grupos en función de la variable tiempo en el CASO 1

Según se aprecia en las Tablas 47 y 48 todos los participantes, tanto según su perfil y experiencia previa, han obtenido mejores tiempos empleando el plano con los símbolos volumétricos que el plano con símbolos en relieve plano (2D). De los datos recogidos es interesante indicar que los participantes invidentes, los videntes, los inexpertos e inexpertos han mostrado diferencias estadísticamente significativas, todas ellas con un *tamaño de efecto* y *poder* estadístico alto, según se aprecia en el siguiente listado:

- *Test de Mann Whitney* entre Invidentes de ambos grupos: *p-valor*= 0.05; *tamaño de efecto*= 2.12; *poder*= 0.99.
- *Test de Mann Whitney* entre Videntes de ambos grupos: *p-valor*= 0.001; *tamaño de efecto*= 2.12; *poder*= 0.99.

$t_o = 2.48$, $p_{oder} = 0.99$.

- *Test de Mann Whitney* entre Inexpertos de ambos grupos: $p\text{-valor} = 0.001$; *tamaño de efecto* = 1.75; $p_{oder} = 0.98$.
- *Test de Mann Whitney* entre Expertos de ambos grupos: $p\text{-valor} = 0.004$; *tamaño de efecto* = 2.70; $p_{oder} = 0.99$.

TIPO DE DEFICIENCIA		N	Media	SD
Invidente	Grupo 1	13	14.99	7.025
	Grupo 2	9	52.28	23.801
Deficiente Visual	Grupo 1	3	43.67	35.685
	Grupo 2	3	54.33	30.827
Vidente	Grupo 1	7	23.52	8.073
	Grupo 2	9	98.33	41.797

Tabla 47: Tiempo medio en ambos grupos según su perfil en el CASO 1.

EXPERIENCIA TÁCTIL		N	Media	SD
Usuario inexperto	Grupo 1	11	29.18	19.510
	Grupo 2	12	87.33	42.887
Conoce Braille	Grupo 1	7	16.07	7.256
	Grupo 2	2	57.00	45.255
Usuario experto	Grupo 1	5	11.40	4.918
	Grupo 2	7	50.93	20.110

Tabla 48: Tiempo medio en ambos grupos según su experiencia previa con los gráficos tangibles en el CASO 1.

Datos entre grupos en función de la variable Error en el CASO 1

Si se observan los datos obtenidos al medir la variable error agrupando los resultados según los perfiles de participantes y su experiencia previa, se aprecia que todos los participantes han obtenido mejores resultados, es decir, una media menor de errores, en el Grupo 1, aquel en el que se empleaban símbolos tridimensionales, llegando, en el caso de los 7 usuarios videntes y 5 expertos del Grupo 1 a no cometer ningún error en ninguna de las tres tareas previstas en el Caso 1 (Tablas 49 y 50).

De lo datos expuestos el único perfil de participante que, a pesar de las diferencias observadas, no ha obtenido resultados estadísticamente significativos ha sido el de las personas con deficiencia visual. En el resto, además de los mencionados anteriormente que no realizaron ni un sólo fallo, se han apreciado diferencias significativas, según se lista a continuación:

- *Test de Mann Whitney* entre Invidentes de ambos grupos: $p\text{-valor} = 0.001$; *tamaño de*

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

efecto= 1.33; poder= 0.92.

- Test de Mann Whitney entre inexpertos de ambos grupos: p -valor= 0.00001; tamaño de efecto= 3.14; poder= 1.0.
- Test de Mann Whitney entre participantes que conocen Braille en ambos grupos: p -valor= 0.036; tamaño de efecto= 1.47; poder= 0.68.

TIPO DE DEFICIENCIA		N	Media	SD
Invidente	Grupo 1	13	0.025	0.0924
	Grupo 2	11	0.364	0.3482
Deficiente Visual	Grupo 1	3	0.111	0.1924
	Grupo 2	3	0.444	0.1924
Vidente	Grupo 1	7	0.000	0.0000
	Grupo 2	9	0.481	0.1757

Tabla 49: Error medio en ambos grupos según la tipología de participante en el CASO 1.

EXPERIENCIA TÁCTIL		N	Media	SD
Usuario inexperto	Grupo 1	11	0.030	0.1005
	Grupo 2	12	0.472	0.1716
Conoce Braille	Grupo 1	7	0.048	0.1260
	Grupo 2	4	0.583	0.5000
Usuario experto	Grupo 1	5	0.000	0.0000
	Grupo 2	7	0.238	0.1626

Tabla 50: Error medio en ambos grupos según la experiencia de los participantes en el CASO 1.

d. Resultados intragrupos del CASO 1

A continuación se exponen los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 1) relativos a los factores de tipología de participante y experiencia previa con los dispositivos táctiles dentro de cada grupo por separado, es decir, internamente. Los datos se muestran por orden, primero los correspondientes al Grupo 1 y posteriormente los del Grupo 2. Los datos estadísticos de los contrastes realizados se indican sólo en los casos en que se han obtenido resultados estadísticamente significativos.

Grupo 1, CASO 1

Las Tablas 51 y 52 indican los diferentes tiempos medios a la hora de realizar las tareas previstas en el CASO 1 dentro del Grupo 1. Los usuarios que menos tiempo han empleado en localizar los símbolos Inicio, Ascensor y Chimenea han sido los expertos y los invidentes. Aunque las

diferencias entre los diferentes tipos de participantes no pueden considerarse estadísticamente significativas ni según su perfil, ni tampoco según su experiencia previa.

	N	Media	SD
Invidente	13	11.910	6.8949
Deficiente Visual	3	21.222	13.2679
Vidente	7	18.190	10.7580

Tabla 51: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el tipo de participantes dentro del Grupo 1.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	11	19.636	10.4758
conoce Braille	7	12.548	6.2470
usuario experto	5	8.400	5.0133

Tabla 52: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el nivel de experiencia previa de los participantes del Grupo 1.

En relación a los errores cometidos dentro del Grupo 1 (Tablas 53 y 54) al tratar de localizar los símbolos correspondientes al Caso 1, se aprecia un dato sorprendente y es que ninguno de los 7 participantes videntes cometieron errores. Por otro lado los usuarios expertos tampoco cometieron errores.

De los datos expuestos en las tablas la única comparativa estadísticamente significativa se ha producido entre los usuarios expertos e inexpertos (*test de Mann Whitney: p-valor= 0.038*), su *tamaño de efecto* y su *poder* estadístico no puede calcularse debido a que no ha habido errores.

	N	Media	SD
Invidente	13	0.026	0.0924
Deficiente Visual	3	0.111	0.1924
Vidente	7	0.000	0.0000

Tabla 53: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según el tipo de participante.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	11	0.030	0.1005
Conoce Braille	7	0.048	0.1260
Usuario experto	5	0.000	0.0000

Tabla 54: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Grupo 2, CASO 1

Los datos obtenidos dentro del Grupo 2 muestran que los participantes que menos media de tiempo emplearon para realizar las tareas del CASO 1 fueron los usuarios invidentes y los expertos (Tablas 55 y 56).

Después de realizar los contrastes estadísticos se han encontrado diferencias internas en el empleo del plano termoconformado (tarea de localización) por parte de los usuarios invidentes respecto a los videntes (*test de Mann Whitney*: $p\text{-valor}=0.013$) con un *tamaño de efecto* alto (1.35) y un *poder* estadístico también alto (0.85).

	N	Media	SD
Invidente	9	52,2778	23,80068
Deficiente Visual	3	54,3333	30,82748
Vidente	9	98,3333	41,79713

Tabla 55: Tabla de distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su perfil, dentro del Grupo 2 en el Caso 1.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	12	87,3333	42,88745
Conoce Braille	2	57,0000	45,25483
Usuario experto	7	50,9286	20,10985

Tabla 56: Tabla de distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su experiencia previa, dentro del Grupo 2 en el Caso 1.

Por último, los errores medios de los participantes según los factores de tipo de perfil y experiencia previa con los gráficos tangibles indican de nuevo que los usuarios que mejores resultados han obtenido, atendiendo a su menor media de errores, han sido los participantes invidentes y los expertos (Tablas 57 y 58).

Las únicas diferencias estadísticamente significativas se han producido al comparar los resultados de los participantes expertos con los inexpertos (*test de Mann Whitney*: $p\text{ valor}= 0.015$), con un *tamaño de efecto* (1.40) y un *poder* altos (0.86). Por lo que se puede afirmar que entre estos dos grupos sí que existen diferencias internas a la hora de emplear el mismo plano termoconformado.

	N	Media	SD
Invidente	11	0.364	0.3482
Deficiente Visual	3	0.444	0.1924
Vidente	9	0.481	0.1757

Tabla 57: Media de errores cometidas por los participantes, según su perfil, del Grupo 2 en el Caso 1.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	12	0.472	0.1716
Conoce Braille	4	0.583	0.5000
Usuario experto	7	0.238	0.1626

Tabla 58: Media de errores cometidas por los participantes, según su experiencia previa, del Grupo 2 en el Caso 1.

7.9.2. CASO 2. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TAREAS 2 Y 8

En la Tabla 59 se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de Localización de símbolos con similares características (2D vs.2D) en cada plano
Tarea 2			Localización de símbolo Fin del recorrido
Tarea 8			Localización de símbolo Zona Táctil

Tabla 59: Tareas en las que se ha medido el tiempo de localización y los errores cometidos cuando los participantes de ambos grupos tuvieron que encontrar símbolos táctiles con características similares (2D vs. 2D) en los dos planos.

Los datos que se obtienen en este caso y en relación a la variable tiempo muestran que existen muy pocas diferencias entre los tiempos medios empleados en ambos grupos para localizar los símbolos evaluados (Tabla 60), del orden de 8 segundos. Sin embargo en los errores cometidos sorprende ver que el Grupo 2 ha duplicado los errores al emplear el plano termoconformado (Tabla 61).

Caso 2 tiempo	N	Media	SD
Grupo 1	22	30.159	21.4467
Grupo 2	22	38.204	38.0559

Tabla 60: Distribución de tiempos de localización entre grupos en el Caso 2: Media y Desviación estándar.

Caso 2 error	N	Media	SD
Grupo 1	23	0.130	0.2704
Grupo 2	23	0.283	0.2949

Tabla 61: Media de errores totales cometidos por cada grupo. Media y Desviación estándar.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El *test de Mann Whitney* indica un *p-valor* de 0.869 para el tiempo, y de 0.045 para la variable error analizada. Sin embargo esta última, en su análisis del *tamaño de efecto* y potencia (*poder*) señalan un *tamaño de efecto* mediano (0.54) y una potencia (0.54) por debajo de 0.8, hecho que indica que no es adecuado considerar las diferencias encontradas como significativas desde el punto de vista estadístico.

a. Observación Directa

En relación a la observación directa, se han apreciado muy pocas diferencias entre los dos grupos. La mejoría de tiempo en el Grupo 1 se debe posiblemente al sistema de producción. El plano A, producido en Impresión en 3D, presenta una mejor definición geométrica que el Plano B termoconformado, hecho que facilita la percepción.

Respecto a los errores, se ha observado que en el Plano B se han confundido algunos símbolos con otros del mismo plano: en el caso del Fin del recorrido, con alguno de los cuatro símbolos que representan los pilares, por su similitud formal (se trata de sendas circunferencias en relieve) aunque tengan un tamaño notablemente diferente. Por otro lado, como en el Caso 1, se ha confundido la Zona Táctil con la representación de la Chimenea, es decir sus dos símbolos en forma de textura.

b. Análisis entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 2

En las siguientes *tablas (62 y 63)* se muestran los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 2) comparando ambos grupos independientes en función de su perfil y su experiencia previa. Según se analizan estos datos se indican los datos estadísticamente significativos encontrados en los contrastes efectuados. Las variables que se han tenido en cuenta han sido el tiempo de localización y los errores cometidos.

Análisis entre grupos en función de la variable tiempo en el CASO 2

En relación a los tiempos medios empleados para realizar las dos tareas de las que constaba el Caso 2, se observa que todos los perfiles analizados por tipología y experiencia muestran una situación equilibrada: de los 6 casos que se analizan (*Tablas 62 y 63*) existen 3 perfiles, las personas invidentes, los que conocen el código Braille y los expertos que han obtenido mejores resultados en el Grupo 2, los otros 3 perfiles han obtenido una mejor media de errores en el Grupo 1. Ninguna de las comparaciones realizadas desde la óptica estadística se puede considerar significativa.

TIPO DE DEFICIENCIA		N	Media	SD
Invidente	Grupo 1	13	28.423	10.4000
	Grupo 2	10	20.800	15.0447
Deficiente Visual	Grupo 1	3	36.500	50.7371
	Grupo 2	3	90.667	60.3517
Vidente	Grupo 1	6	30.750	24.7017
	Grupo 2	9	40.056	34.9548

Tabla 62: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante.

EXPERIENCIA TÁCTIL		N	Media	SD
Usuario inexperto	Grupo 1	10	32.350	30.3215
	Grupo 2	12	52.708	45.5450
Conoce Braille	Grupo 1	7	31.286	10.5113
	Grupo 2	3	25.833	23.6766
Usuario experto	Grupo 1	5	24.200	11.0374
	Grupo 2	7	18.643	11.6000

Tabla 63: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según la experiencia previa del participante.

Análisis entre grupos en función de la variable Error en el CASO 2

Los datos recogidos en este experimento y para este caso indican que existen diferencias estadísticamente significativas en los participantes invidentes (*test de Mann Whitney*: $p\text{-valor}=0.042$) con un *tamaño de efecto* alto (0.88) y un *poder* no superior a 0.8 (0.65) que indican que la diferencia encontrada no tiene suficiente potencia estadística. Se debe señalar que los participantes con deficiencia visual del Grupo 1 no cometieron ni un sólo fallo después de realizar las dos tareas de las que constaba el Caso 2, aunque la pequeña muestra, sólo 3 participantes por grupo, impide extraer conclusiones determinantes (Tabla 64).

Por otro lado, los participantes expertos del Grupo 1 tampoco realizaron ningún fallo en este caso y su muestra sí que permite obtener resultados con significancia estadística (*test de Mann Whitney*: $p\text{-valor}=0.047$), lamentablemente el hecho de que tanto la media como la desviación estándar sean 0 impide aplicar el test de la potencia estadística (Tabla 65).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

TIPO DE DEFICIENCIA		N	Media	SD
Invidente	Grupo 1	13	0.077	0.1878
	Grupo 2	11	0.318	0.3371
Deficiente Visual	Grupo 1	3	0.000	0.0000
	Grupo 2	3	0.333	0.2887
Vidente	Grupo 1	7	0.286	0.3934
	Grupo 2	9	0.222	0.2635

Tabla 64: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según el perfil de participante.

EXPERIENCIA TÁCTIL		N	Media	SD
Usuario inexperto	Grupo 1	11	0.182	0.3371
	Grupo 2	12	0.250	0.2611
Conoce Braille	Grupo 1	7	0.143	0.2440
	Grupo 2	4	0.375	0.4787
Usuario experto	Grupo 1	5	0.000	0.0000
	Grupo 2	7	0.286	0.2673

Tabla 65: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según la experiencia previa de los participantes.

c. Resultados intragrupos del CASO 2

A continuación se exponen los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 1) relativos a los factores de tipología de participante y experiencia previa con los dispositivos táctiles dentro de cada grupo por separado, es decir, internamente. Los datos se muestran por orden, primero los correspondientes al Grupo 1 y posteriormente los del Grupo 2. Los datos estadísticos de los contrastes realizados se indican sólo en los casos en que se han obtenido resultados estadísticamente significativos.

Grupo 1, CASO 2

Las Tablas 66 y 67 indican los diferentes tiempos medios a la hora de realizar las tareas previstas en el Caso 2 dentro del Grupo 1 únicamente.

Las personas que han obtenido mejores resultados en este caso han sido los usuarios invidentes y los expertos, aunque en ningún caso las diferencias obtenidas se pueden considerar significativas desde la óptica estadística.

	N	Media	SD
Invidente	13	28.423	10.4000
Deficiente Visual	3	36.500	50.7371
Vidente	6	30.750	24.7017

Tabla 66: Tiempo medio empleado en el Caso 2 dentro del Grupo 1 según el perfil de participante.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	10	32.350	30.3215
Conoce Braille	7	31.286	10.5113
Usuario experto	5	24.200	11.0374

Tabla 67: Tiempo medio empleado en Caso 2 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes.

En relación a los errores cometidos dentro de este grupo y caso, cabe señalar que los 3 participantes de este experimento con deficiencia visual no cometieron ningún error al realizar las dos tareas encomendadas en el Caso 2, así como tampoco ninguno de los 5 participantes expertos (Tablas 68 y 69). Fueron estas dos tipologías de participantes las que obtuvieron mejores resultados. En cualquier caso los test estadísticos indican que las diferencias encontradas no tienen valor estadístico como tales.

	N	Media	SD
Invidente	13	0.077	0.1878
Deficiente Visual	3	0.000	0.0000
Vidente	7	0.286	0.3934

Tabla 68: Errores medio cometidos en el Caso 2 según el perfil del participante dentro del Grupo 1.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	11	0.182	0.3371
Conoce Braille	7	0.143	0.2440
Usuario experto	5	0.000	0.0000

Tabla 69: Errores medio cometidos en el Caso 2 según el perfil la experiencia previa de los participantes dentro del Grupo 1.

Grupo 2, CASO 2

Los datos obtenidos dentro del Grupo 2 muestran que los participantes que menos media de tiempo emplearon para realizar las tareas del Caso 2 fueron los usuarios invidentes y los expertos (Tablas 70 y 71). Aunque no se puede afirmar que estadísticamente existan diferencias.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

	N	Media	SD
Invidente	10	20.800	15.0447
Deficiente Visual	3	90.667	60.3517
Vidente	9	40.056	34.9548

Tabla 70: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 entre perfiles de participantes.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	12	52,708	45,5499
Conoce Braille	3	25,833	23,6766
Usuario experto	7	18,643	11,6000

Tabla 71: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 según la experiencia previa de los participantes.

En relación a los errores de este caso y los perfiles y experiencia de los participantes se observa que los errores cometidos en todos los casos se encuentran dentro de un orden similar 0.22-0.33, con sólo una diferencia de 0.11 puntos entre ellos. Resalta, en cualquier caso, la curiosidad que los participantes videntes (Tabla 72) y los inexpertos (Tabla 73) sean los que mejores resultados hayan obtenido, aunque sin valor estadístico en su respectivas comparativas con el resto de participantes.

	N	Media	SD
Invidente	11	0.318	0.3371
Deficiente Visual	3	0.333	0.2887
Vidente	9	0.222	0.2635

Tabla 72: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 entre perfiles de participantes.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	12	0.250	0.2611
Conoce Braille	4	0.375	0.4787
Usuario experto	7	0.286	0.2673

Tabla 73: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 según la experiencia previa de los participantes.

7.9.3. CASO 3: EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TAREAS 3, 5 Y 6

En la Tabla 74 se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.




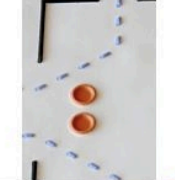
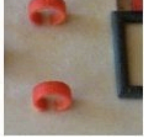

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de recuento de símbolos con diferentes características (2D vs.3D) en cada plano
Tarea 3			Recuento de símbolo Escalera (3 unidades)
Tarea 5			Recuento de símbolo Pilar (4 unidades)
Tarea 6			Recuento de símbolo Acceso restringido (2 unidades)

Tabla 74: Tareas en las que se ha medido los errores de discriminación de los participantes al contar símbolos de diferentes características formales (2D vs. 3D) en función del plano.

a. Datos obtenidos

A continuación se muestran, en la Tabla 75, los resultados obtenidos para el Caso 3 en el que se miden únicamente los errores cometidos al contar los símbolos que se encuentran en ambos planos. Estos datos indican una diferencia notable con una reducción de más del 50% entre el Grupo 1 respecto al Grupo 2 que empleaba el plano termoconformado con símbolos en relieve plano.

El test de Mann Whitney indica un *p-valor* de 0.001; un *tamaño de efecto* alto (1.15), así como un *poder* estadístico alto (0.98). Datos que confirman que las diferencias encontradas son estadísticamente significativas.

CASO 3	N	Media	SD
Grupo 1	23	0.667	0.5125
Grupo 2	23	1.391	0.7293

Tabla 75: Media de errores totales cometidos por cada grupo en el Caso 3. Media y Desviación estándar.

b. Observación Directa

En relación a la observación directa, se ha apreciado que el símbolo que representa la Escale-

ra en el Plano A, se ha percibido con dificultad debido a que se han empleado en diferentes niveles de profundidad, es decir, en espacios por debajo o encima de la cota 0 del plano. Algunos usuarios no detectaban estos "rincones".

Por otro lado, el símbolo de acceso restringido del Plano B también se ha confundido, en algunas ocasiones, con el propio código Braille del plano, y en la mayoría de las ocasiones los participantes han tenido dificultades para encontrarlo debido a su tamaño pequeño con respecto a la totalidad del plano.

c. Resultados entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 3

En las siguientes tablas (76 y 77) se muestran los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 3) comparando ambos grupos independientes en función de su perfil y su experiencia previa. Según se exponen estos datos se indican los datos estadísticamente significativos encontrados en los contrastes efectuados. La única variable que contempla este caso es la variable error.

Datos entre grupos en función de la variable Error en el CASO 3

Según los datos obtenidos en este caso, todos los perfiles de participantes, independientemente de su tipología y experiencia previa, han mejorado sus resultados con el Plano A. Aunque sólo se han encontrado diferencias significativas a la hora de reconocer y contar correctamente los símbolos entre los participantes videntes, deficientes visuales e inexpertos. A continuación se listan los datos estadísticos destacables:

- *Test de Mann Whitney* entre Deficientes Visuales de ambos grupos: $p\text{-valor}= 0.046$; *tamaño de efecto*= 2.18; *poder*= 0.68.
- *Test de Mann Whitney* entre Videntes de ambos grupos: $p\text{-valor}= 0.012$; *tamaño de efecto*= 1.53; *poder*= 0.88.
- *Test de Mann Whitney* entre Inexpertos de ambos grupos: $p\text{-valor}= 0.001$; *tamaño de efecto*= 1.65; *poder*= 0.98.

TIPO DE DEFICIENCIA		N	Media	SD
Invidente	Grupo 1	13	0.769	0.5835
	Grupo 2	11	1.151	0.6030
Deficiente Visual	Grupo 1	3	0.444	0.1924
	Grupo 2	3	1.556	0.6940
Vidente	Grupo 1	7	0.571	0.4600
	Grupo 2	9	1.630	0.8571

Tabla 76: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante.

EXPERIENCIA TÁCTIL		N	Media	SD
Usuario inexperto	Grupo 1	11	0.576	0.3970
	Grupo 2	12	1.611	0.7892
Conoce Braille	Grupo 1	7	0.857	0.6627
	Grupo 2	4	1.333	0.7201
Usuario experto	Grupo 1	5	0.600	0.5477
	Grupo 2	7	1.048	0.55872

Tabla 77: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según la experiencia del participante.

d. Resultados intragrupos del CASO 3

A continuación se exponen los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 3) relativos a los factores de tipología de participante y experiencia previa con los dispositivos táctiles dentro de cada grupo por separado, es decir, internamente. Los datos se muestran por orden, primero los correspondientes al Grupo 1 y posteriormente los del Grupo 2. Los datos estadísticos de los contrastes realizados se indican sólo en los casos en que se han obtenido resultados estadísticamente significativos. La variable con la que se ha trabajado en este caso ha sido únicamente la variable error.

Grupo 1, CASO 3

En este caso hay que señalar que los participantes que menos errores han cometido han sido los 3 usuarios deficientes visuales y curiosamente los inexpertos (Tablas 78 y 79). En cualquier caso sus diferencias no son estadísticamente significativas.

	N	Media	SD
Invidente	13	0.769	0.5835
Deficiente Visual	3	0.444	0.1924
Vidente	7	0.571	0.4600

Tabla 78: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según el perfil de participante.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

	N	Media	SD
Usuario inexperto	11	0.576	0.3970
Conoce Braille	7	0.857	0.6627
Usuario experto	5	0.600	0.5477

Tabla 79: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante.

Grupo 2, CASO 3

Dentro del Grupo 2, ha existido un comportamiento esperado y los participantes invidentes y expertos son los que mejores resultados han obtenido, aunque en ninguno de los 6 casos estudiados se han encontrado diferencias significativas dentro de este grupo (Tablas 80 y 81).

	N	Media	SD
Invidente	11	0.697	0.5045
Deficiente Visual	3	1.000	0.6667
Vidente	9	1.037	0.8070

Tabla 80: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 2 según el perfil de participante.

	N	Media	SD
Usuario inexperto	12	1.028	0.74479
Conoce Braille	4	0.750	0.63099
Usuario experto	7	0.667	0.47140

Tabla 81: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante.

7.9.4. CASO 4. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

A continuación se exponen los datos del Caso 4 obtenidos desde dos enfoques.

El primer enfoque aborda la cuestión desde la perspectiva interna del Grupo 2, atendiendo a que este grupo ha empleado el Plano B, justo el que incluye los tres símbolos considerados traducciones directas de aspectos visuales a táctiles: Inicio del Recorrido, Ascensor y Escalera. De esta manera se comparan los supuestos en los que se han realizado las mismas tareas en un contexto similar, es decir, en el que se emplean símbolos únicamente con relieve plano. Se ha seleccionado como elemento de comparación el símbolo Fin de recorrido, después de descartar el resto por diferentes motivos. Así, se han descartado en la comparativa los símbolos tipo área-textura por su diferencia de tamaño y los símbolos Escalera, Columnas y Acceso restringido porque se engloban dentro de las tareas tipo recuento y no de localización. Finalmente los símbolos evaluados son Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor (Tabla 82).

Símbolo	Tipo	Contenido
Inicio del recorrido	Traducción directa	<i>Dirección</i>
Fin del recorrido	Arbitrario	<i>Genérico</i>
Ascensor	Traducción directa	<i>Ascensor/hueco de escalera</i>

Tabla 82: Relación entre la tipología de símbolo evaluado y el carácter de sus contenidos.

Por último, comentar que sólo se atiende a la variable error, ya que la variable tiempo, propia de la tarea de localizar, compararía símbolos en posiciones diferentes dentro del Plano B, hecho que podría dar cabida a introducir sesgos en los resultados. En la [Tabla 83](#) se señalan los símbolos seleccionados para este análisis.













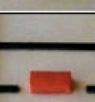

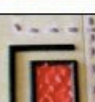

Tareas	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tipo de tarea, símbolos y carácter
Tarea 1			Localización Símbolo Inicio del recorrido 3D vs. 2D
Tarea 2			Localización Símbolo Fin del recorrido 2D vs. 2D
Tarea 3			Recuento (3 unidades) Escalera 3D vs. 2D
Tarea 4			Localización Símbolo Ascensor 3D vs. 2D
Tarea 5			Recuento (4 unidades) Símbolo Pilar 3D vs. 2D
Tarea 6			Recuento (2 unidades) Símbolo Acceso restringido 3D vs. 2D
Tarea 7			Localización Símbolo Chimenea 3D vs. 2D
Tarea 8			Localización Zona Táctil 2D vs. 2D

Tabla 83: Tabla resumen que indica en un recuadro rojo los símbolos seleccionados en este caso.

Por otro lado, el segundo enfoque abre la perspectiva de análisis también entre grupos y considera los tres símbolos tipo “traducciones directas”, así como sus homónimos en volumen del

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Plano A. Además como se comparan dos planos distintos en los que la posición de los pares de símbolos evaluados no varía, por lo tanto se tiene en cuenta en esta ocasión el valor del tiempo medio de localización por símbolo.

a. Resultados intragrupo. Grupo 2. CASO 4

En la Tabla 84 se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso. Según se observa en los datos expuestos que resumen la media de errores entre los tres símbolos comparados, se observa que el símbolo Fin del recorrido presenta un menor índice de errores, seguido de los símbolos Inicio del recorrido y Ascensor. El *test de Wilcoxon* que compara pares de muestras indica que sus diferencias no son estadísticamente significativas (Tabla 85). Por el rango de variación entre ellos se observa que su comportamiento es similar. En cualquier caso, los dos símbolos tipo “traducción directa” han provocado un mayor número de errores.

ERRORES TOTALES	N	Media	SD
Inicio (traducción directa)	23	0.43	0.507
Fin	23	0.35	0.487
Ascensor (traducción directa)	23	0.56	0.507

Tabla 84: Media de errores dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

Test de Wilcoxon	Fin - Inicio	Ascensor - Inicio	ASCENSOR - FIN
Z	-0.577a	-0.832b	-1.387b
p-valor	0.564	0.405	0.166

Tabla 85: Datos estadísticos de los contrastes entre pares de símbolos.

Por otro lado, si se segregan los errores en sus dos tipos, de localización y falsos aciertos (Tablas 86 y 88), se observa que a pesar de la existencia de ciertas diferencias no se puede afirmar, según el *test de Wilcoxon*, que éstas sean significativas, excepto en el caso de la comparación de los errores de localización entre el símbolo Fin y el Ascensor (Tablas 87 y 89), la media de errores de éste último es exactamente tres veces superior a la que se ha cometido con el símbolo Fin. El *tamaño de efecto* de esta comparación es 0.59 y su *poder* estadístico es 0.85.

Además, conviene señalar que algunos de los *p-valores* calculados se encuentran en el límite superior de 0.05, valor que delimita que las diferencias encontradas puedan considerarse significativas. Este último es el caso de la comparativa entre el símbolo Fin e Inicio (*p-valor*= 0.059). Calculando, en cualquier caso, su *tamaño de efecto* y *poder* se extraen valores que no señalan

que ésta sea una diferencia significativa a pesar de un *tamaño de efecto* medio (0.51) y su *poder estadístico* (0.74) casi aceptable (muy próximo a 0.8). Aunque una mayor muestra podría romper ese límite.

ERRORES DE LOCALIZACIÓN	N	Media	SD
INICIO	23	0.35	0.487
FIN	23	0.13	0.344
ASCENSOR	23	0.39	0.499

Tabla 86: Media de los errores de localización dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

Willcoxon	FIN - INICIO	ASCENSOR - INICIO	ASCENSOR - FIN
Z	-1.890a	-0.302b	-1.732b
p-valor	0.059	0.763	0.083

Tabla 87: Datos estadísticos.

FALSOS ACIERTOS	N	Media	SD
INICIO	23	0.09	0.288
FIN	23	0.22	0.422
ASCENSOR	23	0.17	0.388

Tabla 88: Media de falsos aciertos dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

Test de Wilcoxon	FIN - INICIO	Ascensor - Inicio	ASCENSOR - FIN
Z	-1.342a	-1.000a	-0.447b
p-valor	0.180	0.317	0.655

Tabla 89: Estadísticos.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

b. Análisis entre Grupos. CASO 4

En la [Tabla 90](#) se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de localización de símbolos con diferentes características (2D vs.3D) en cada plano
Tarea 1			Localización de símbolo Inicio del recorrido
Tarea 3			Recuento de símbolo Escalera (3 unidades)
Tarea 4			Localización de símbolo Ascensor

Tabla 90: Tabla resumen con las Tareas en las que se ha medido los errores de discriminación de los participantes al contar símbolos de diferentes características formales (2D vs. 3D) en función del plano, con especial atención a las Tareas 1, 3 y 4 en el Plano B por considerarse estos símbolos “traducciones directas” de aspectos visuales a táctiles.

En las siguiente [tablas \(91 y 92\)](#) se muestran los datos obtenidos en el Experimento E, Plano táctil interior (Caso 4) en el que se comparan determinados símbolos táctiles en ambos planos (Plano A vs. Plano B), es decir, entre los dos grupos. Se atiende a los símbolos cuya representación en el Plano B se considera una “traducción directa” de aspectos visuales a táctiles: Inicio, Ascensor y Escalera. La media tanto de tiempo como de errores en todos los casos es menor dentro del Grupo 1, a excepción de los errores totales en el símbolo Escalera, cuya media es inferior en el Grupo 2. [La Tabla 92](#) indica que todos los contrastes (*tests de Mann Whitney y de Wilcoxon*) son estadísticamente significativos y con un *tamaño de efecto y poder* altos, a excepción del caso de los errores totales del símbolo Escalera.

	Grupo	N	Media	SD
TIEMPO DE INICIO	Grupo 1	22	23.77	18.113
	Grupo 2	13	103.38	6.,306
TIEMPO DE ASCENSOR	Grupo 1	23	22.04	15.976
	Grupo 2	10	60.00	32,911
ERROR TOTAL INICIO	Grupo 1	23	0.04	0.209
	Grupo 2	23	0.43	0.507
ERRORES TOTALES ESCALERA	Grupo 1	23	1.74	1.287
	Grupo 2	23	1.17	1.114
ERROR TOTAL ASCENSOR	Grupo 1	23	0.00	0..000
	Grupo 2	23	0.57	0.507

Tabla 91: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor; y media de errores totales entre grupos en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor.

	TIEMPO DE INICIO	TIEMPO DE ASCENSOR	ERROR TOTAL INICIO	ERRORES TOTALES ESCALERA	ERROR TOTAL ASCENSOR
Mann-Whitney U	35.500	33.000	161.000	197,500	115,000
Wilcoxon W	288.500	309.000	437.000	473,500	391,000
Z	-3.672	-3.213	-3.077	-1,541	-4,210
p-valor	0.000	0.001	0.002	0,123	0,000
tamaño de efecto	1.57	1.47	1.00	0.47	*
poder	0.99	0.98	0.95	0.48	*

* No se puede calcular porque ninguno de los 23 participantes del Grupo 1 cometió errores.

Tabla 92: Datos estadísticos.

Si se profundiza en los errores para analizarlos según su tipología (Errores de localización y Falsos aciertos) se aprecia que el Grupo 1 ha obtenido mejores resultados a excepción del caso de los errores de localización del símbolo Escalera (Tabla 93). Las pruebas estadísticas (*Mann Whitney* y *Wilcoxon*) señalan que los contrastes evaluados son estadísticamente significativos en sus diferencias, excepto para el caso del Símbolo Inicio y Escalera en el apartado de Falsos Aciertos. Aunque hay que señalar que los Errores de Localización del símbolo Escalera cuyo *p-valor* 0.035 es estadísticamente significativo tiene un *poder* no superior a 0.8, aunque muy próximo (0.76), hecho que objetivamente impide considerar esta diferencia entre símbolos como estadísticamente significativa (Tabla 94).

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

	Grupo	N	Media	SD
ERRORES LOCALIZACIÓN INICIO	Grupo 1	23	0.00	0.000
	Grupo 2	23	0.35	0.487
FALSOS ACIERTOS INICIO	Grupo 1	23	0.04	0.209
	Grupo 2	23	0.09	0.288
ERRORES LOCALIZACIÓN DE ESCALERA	Grupo 1	23	1.61	1.196
	Grupo 2	23	0.87	0.815
FALSOS ACIERTOS ESCALERA	Grupo 1	23	0.13	0.344
	Grupo 2	23	0.30	0.559
ERROR DE LOCALIZACIÓN ASCENSOR	Grupo 1	23	0.00	0.000
	Grupo 2	23	0.39	0.499
FALSO ACIERTO ASCENSOR	Grupo 1	23	0.00	0.000
	Grupo 2	23	0.17	0.388

Tabla 93: Diversos tipos de errores en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor organizados según grupos.

	ERRORES LOCALIZACIÓN INICIO	FALSOS ACIERTOS INICIO	ERRORES LOCALIZACIÓN DE ESCALERA	FALSOS ACIERTOS ESCALERA	ERROR DE LOCALIZACIÓN ASCENSOR	FALSO ACIERTO ASCENSOR
Mann-Whitney U	172.50	253.00	173.00	228.50	161.00	218.50
Wilcoxon W	448.50	529.00	449.00	504.50	437.00	494.50
Z	-3.078	-0.591	-2.109	-1.148	-3.308	-2.070
p-valor	0.002	0.555	0.035	0.251	0.001	0.038
tamaño de efecto	*	0.20	0.72	0.37	*	*
poder	*	0.16	0.76	0.33	*	*

* No se puede calcular porque ninguno de los 23 participantes del Grupo 1 cometió errores.

Tabla 94: Datos estadísticos.

7.10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

Como se ha observado en los resultados, cuando se han modificado las condiciones de los planos añadiendo símbolos volumétricos los resultados han sido positivos (Caso 1 y 3), en cuanto han mejorado las dos variables analizadas en el estudio. Por el contrario, cuando se han mantenido las condiciones (Caso 2), el comportamiento del grupo ante las tareas planificadas ha sido similar.

Se aprecian más diferencias en el empleo del plano en el Grupo 2 que en el 1. Los expertos e invidentes tienen contacto con estos planos (termoconformados) y poseen estrategias específicas para emplearlos. En el caso del plano en Impresión en 3D con símbolos volumétricos, se puede afirmar que es una novedad para cualquier grupo, por lo que ninguno de los participantes parte con especial ventaja.

Entre grupos (tiempo) sorprende que se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre los perfiles de participantes y según su experiencia, aunque los participantes con deficiencia visual o que conocen Braille han obtenido datos que no muestran diferencias, ni con los invidentes, ni con los expertos. Se trata de un grupo intermedio.

Por último, se menciona además el Caso específico en el que se analiza el uso de símbolos provenientes de una convención visual (Caso 4).

A continuación se detalla caso por caso el análisis de los resultados:

7.10.1. CASO 1. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

En la **Tabla 95** se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.





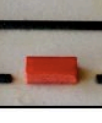

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de localización de símbolos con diferentes características (2D vs.3D) en cada plano
Tarea 1			Localización de símbolo Inicio del recorrido
Tarea 4			Localización de símbolo Ascensor
Tarea 7			Localización de símbolo Chimenea

Tabla 95: Tabla resumen con las tareas del Caso 1 del Experimento E, Plano táctil interior.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos muestran que tanto en el tiempo de localización como en los errores cometidos existen diferencias estadísticamente significativas según el plano, A o B, en el que se encuentran los símbolos, ya que en todos los casos los *p-valores* son menores de 0.05. Por lo tanto, el uso de símbolos táctiles en 3D en planos táctiles, combinado con el resto de categorías de símbolos (puntuales, lineales y áreas-téxturas), mejora notablemente el tiempo de localización autónoma por parte de los participantes, tal y como ha sucedido en el Grupo 1, grupo que empleó el plano con este tipo de símbolos (Gráfico 24).

Además, a tenor del cálculo de la potencia y el tamaño de efecto se puede asegurar que el efecto de introducir símbolos táctiles en 3D en un plano táctil tiene unas consecuencias positivas con unas reducciones notables de entre el 70% y el 90% en los tiempos de localización y en los errores cometidos respectivamente. Dos variables sumamente importantes en la mejora de la usabilidad global de este tipo de productos, ya que optimizan la interacción entre usuario y dispositivo, haciendo menos frustrante su uso y mejorando su eficiencia.

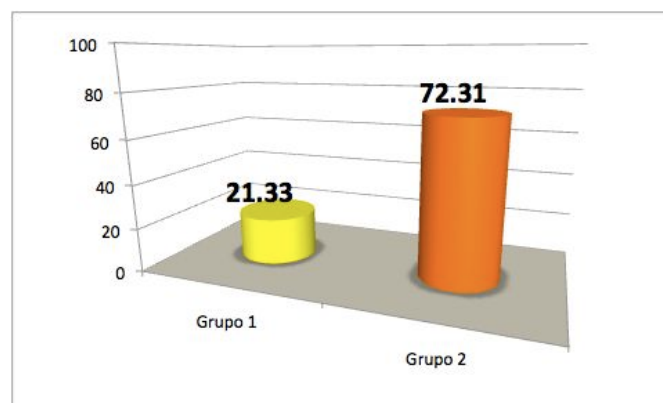


Gráfico 24: Distribución de tiempos medios de localización entre grupos en la realización de las tareas 1, 4 y 7.

Como se observa en la Gráfica siguiente (Gráfico 25), el Grupo 1 redujo de manera significativa también los errores de percepción de estos símbolos respecto a los empleados en el Plano B con carácter bidimensional, aunque en relieve. Esta reducción es casi próxima al 0 absoluto, por lo que estos valores toman especial importancia, al ser indicadores de que casi es posible emplear un plano táctil sin que se produzcan errores de reconocimiento y discriminación cuando la acción consiste en encontrar el símbolo volumétrico en un plano después de consultar la leyenda.

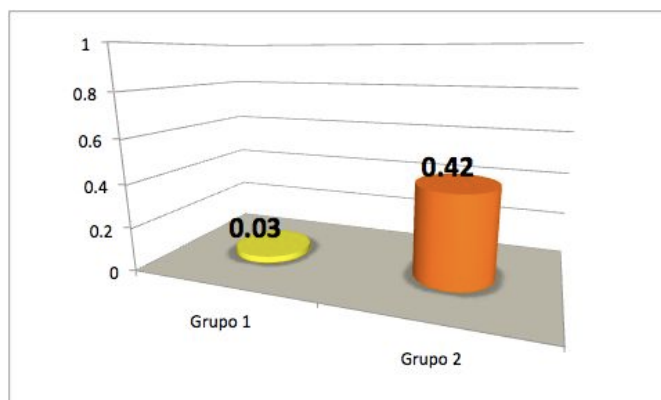


Gráfico 25: Media de errores totales cometidos por cada grupo en la realización de las tareas 1, 4 y 7.

Por otro lado, la observación directa indica que el símbolo (Chimenea) se ha confundido en el Plano B con la Zona Táctil de similar categoría, se trata de dos representaciones en forma de área-textura. Esta confusión no ha sido posible en el Plano A que incluye mayor variedad de matices formales entre grupos, gracias al empleo de la categoría de símbolos volumétricos, difícilmente confundibles con las otras categorías de símbolos: puntuales, lineales y áreas-texturas. En este sentido, conviene mencionar la importancia del contraste de altura para facilitar el proceso de localización de los símbolos en 3D (Nolan & Morris, 1971). Sin duda, estos elementos pueden emplearse como elementos de representación de puntos significativos de un plano. Este hecho se apoya en los bajos índices de errores y en su fácil localización con respecto a los símbolos 2D.

a. Análisis entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 1

Si se analizan los datos obtenidos desde una perspectiva que segregue a los participantes en sus respectivas tipologías (Invidentes, Videntes y Deficientes Visuales) y según su experiencia previa (Expertos, Inexpertos y Usuarios que saben leer en Braille), se observa que el Grupo 2 obtuvo siempre peores resultados (Gráfico 26).

En relación al tiempo medio empleado y el tipo de participante, los Invidentes y los Videntes son los que en mayor porcentaje han reducido los tiempos en el Grupo 1 respecto al 2. Los participantes con deficiencia visual sin embargo han obtenido unos resultados similares entre grupos, aunque su pequeña muestra, sólo 3 individuos, no parece suficiente para realizar un análisis fiable. El tamaño de efecto y las potencias calculadas para Invidentes e Invidentes señalan unos niveles altos (la menor potencia obtenida ha sido 0.98) que remarcan las diferencias entre estos tipos de participantes en función de si han empleado un plano u otro, siendo aquellos que han utilizado el plano con símbolos volumétricos los que mejores tiempos han obtenido.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

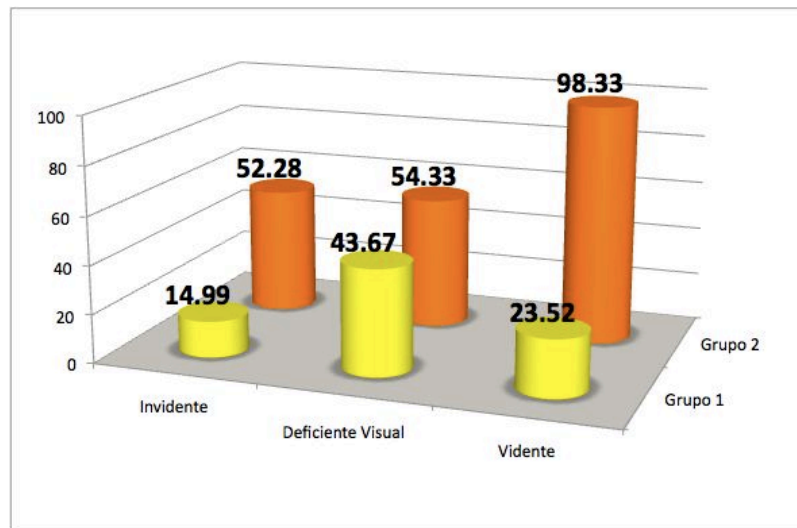


Gráfico 26: Tiempo medio en ambos grupos según su perfil en el CASO 1

Si se analiza la variable tiempo desde la perspectiva de la experiencia previa se observa (Gráfico 27) que al igual que el caso anterior los tiempos se han reducido significativamente en el caso de los participantes que han empleado el Plano A, es decir, los del Grupo 1. Sobre todo, en Expertos e Inexpertos con potencias y tamaños de efectos muy altos (0.99 y 0.98 respectivamente). Aquellos participantes que saben leer Braille han obtenido unas diferencias notables pero no estadísticamente significativas.

Todos estos datos en relación a la variable tiempo se podrían interpretar como que para usuarios con poca o mucha experiencia la introducción de símbolos táctiles en un plano les beneficia significativamente, ya que les cuesta menos tiempo de localizar, sin embargo, con los deficientes visuales y los que tienen un nivel medio de experiencia previa, es decir, los individuos que saben leer el código Braille, las diferencias entre el uso de un plano u otro parece no ser especialmente determinante, a falta de realizar el estudio con una mayor muestra de participantes de este tipo, ya que, como se ha comentado, sólo 3 participantes por grupo con deficiencia visual realizaron la experiencia y únicamente se testearon 2 individuos que conocen Braille en el Grupo 2. Insuficientes a todas luces para extraer conclusiones determinantes.

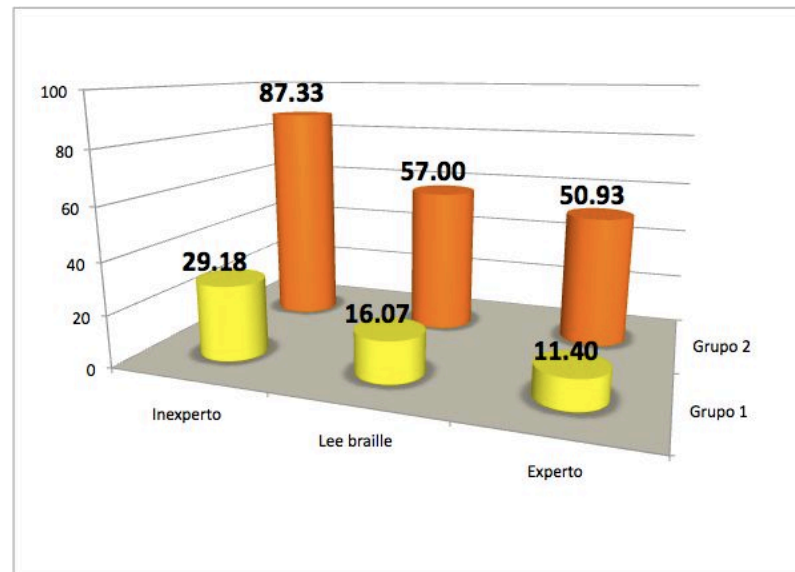


Gráfico 27: Tiempo medio en ambos grupos según su experiencia previa con los gráficos tangibles en el CASO 1.

Respecto a los errores cometidos entre grupos y perfiles de participantes se ha observado que existen diferencias entre los resultados de los todos los tipos de participantes en ambos grupos (Gráficos 28 y 29). Llegando a haber perfiles que no han cometido ningún error en el Grupo 1, en el que se analizaba el comportamiento de los participantes ante los símbolos volumétricos, es el caso de los 7 usuarios, curiosamente, videntes y de los 5 participantes expertos. Además, los participantes Invidentes y los Inexpertos también han obtenido unas diferencias entre grupos significativas con unas potencias muy altas, llegando al máximo valorable en el caso de los inexpertos (potencia (*poder*)=1.0). Por su parte, los deficientes visuales y aquellos que leen Braille no han obtenido diferencias que desde la óptica estadística puedan ser determinantes, como en el caso anterior, el reducido número de individuos a comparar puede ser la causa, ya que, a priori, el tamaño de efecto calculado, por ejemplo para la diferencia entre participantes que leen Braille es de 1.47, un *tamaño de efecto* muy alto que invita a continuar el estudio con una muestra más amplia para certificar que también en este grupo existen diferencias.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

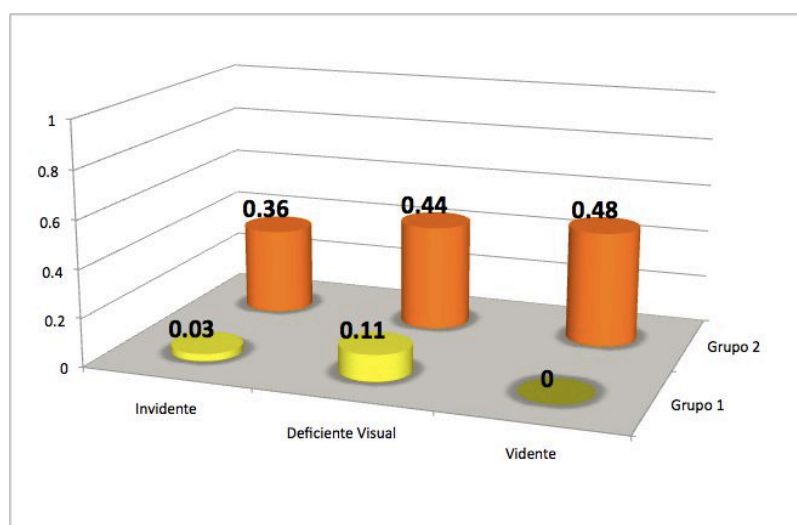


Gráfico 28: Error medio en ambos grupos según la tipología de participante en el CASO 1.

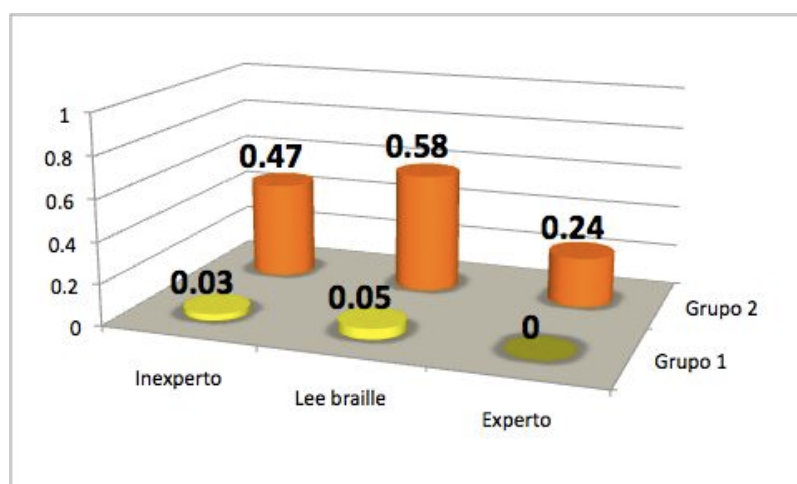


Gráfico 29: Error medio en ambos grupos según la experiencia de los participantes en el CASO 1.

En cualquier caso, de modo general se aprecia una mejoría en los participantes al emplear el Plano A con símbolos táctiles 3D, combinados con símbolos en relieve plano, Y en todo caso, nunca este factor diferencial del Plano A influye de manera negativa en los resultados, sino, como se aprecia, mejora especialmente el uso en personas sin experiencia ni estrategias de exploración táctil, y en aquellos que ya conocen bien este medio como es el caso de los expertos e invidentes.

b. Análisis intragrupos**Grupo 1, CASO 1**

Los datos relativos a los factores de tipología de participante y experiencia previa con los dispositivos táctiles dentro de cada grupo por separado, es decir, internamente no indican que exista una diferencia generalizada entre los tipos de participantes, ni según su tipología, ni según su experiencia previa con dispositivos táctiles, a pesar de que en el caso de comparar usuarios expertos y sus errores, como se verá, se ha encontrado un contraste significativo: ninguno de los 5 usuarios expertos de este grupo ha cometido errores en ninguna de las tres tareas propuestas para este caso.

Como se observa en las siguientes gráficas, los tiempos de localización de los tres símbolos táctiles evaluados señalan pocas diferencias, tanto según el perfil del participante, como según su experiencia previa (Gráficos 30 y 31). El factor experiencia abarca un mayor rango de diferencias pero sin valor estadístico en ninguno de los dos casos.

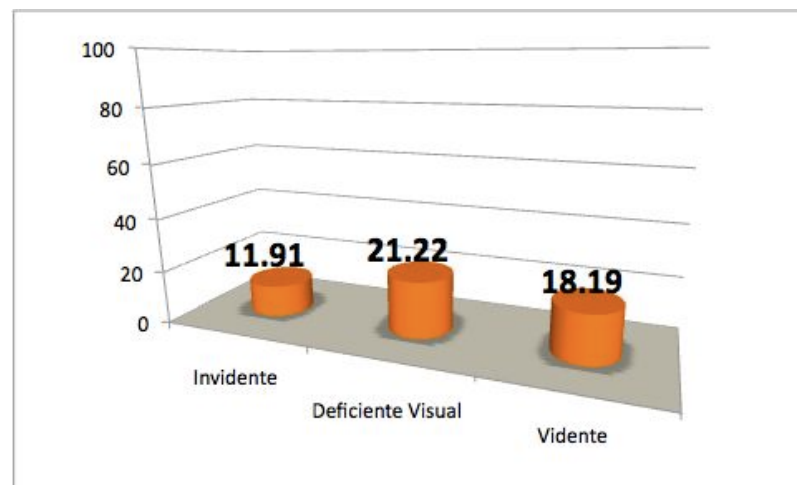


Gráfico 30: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el tipo de participantes dentro del Grupo 1

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

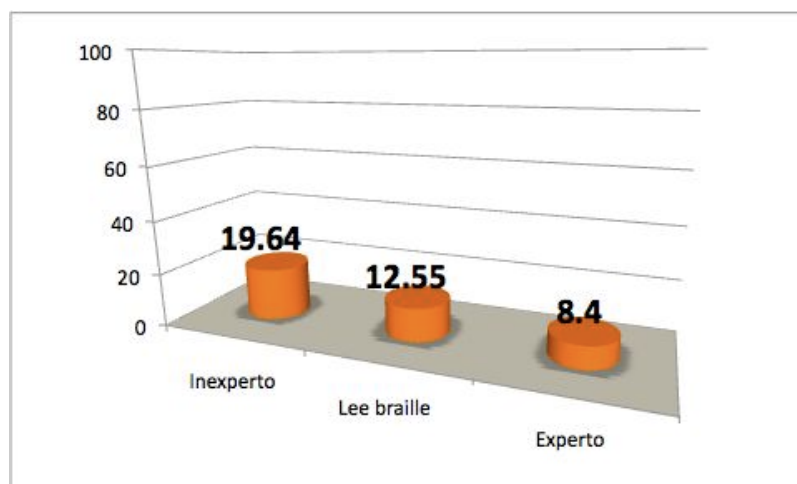


Gráfico 31: Tiempo medio en la realización de las Tareas 1, 4 y 7 según el nivel de experiencia previa de los participantes del Grupo 1.

Los errores cometidos dentro del Grupo 1 al realizar la búsqueda y localización de las tareas previstas en este caso muestra unos índices muy bajos en todos los perfiles de participantes, incluido la comparativas según su grado de experiencia (Gráficos 32 y 33). Este hecho indica que este tipo de símbolos son fácilmente reconocibles al tacto por todos los usuarios, posiblemente por su carácter simple.

Curiosamente, los participantes videntes demostraron una alta efectividad y ninguno de los 7 usuarios de este grupo cometieron errores al tratar de localizar los símbolos evaluados. Por su parte, los participantes expertos, 5 en este grupo, tampoco realizaron fallos en este caso, aunque diferencias entre ellos son aún menores. Esto se puede traducir en que el uso de símbolos táctiles en 3D posee una curva de aprendizaje muy corta en la que las diferencias según la experiencia previa se diluye, hecho positivo que corrobora el buen comportamiento de este tipo de elementos en un plano táctil.

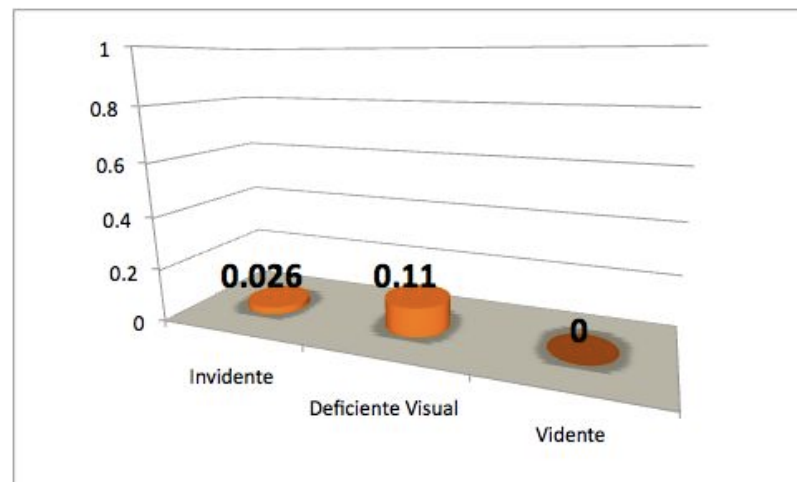


Gráfico 32: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según el tipo de participante.

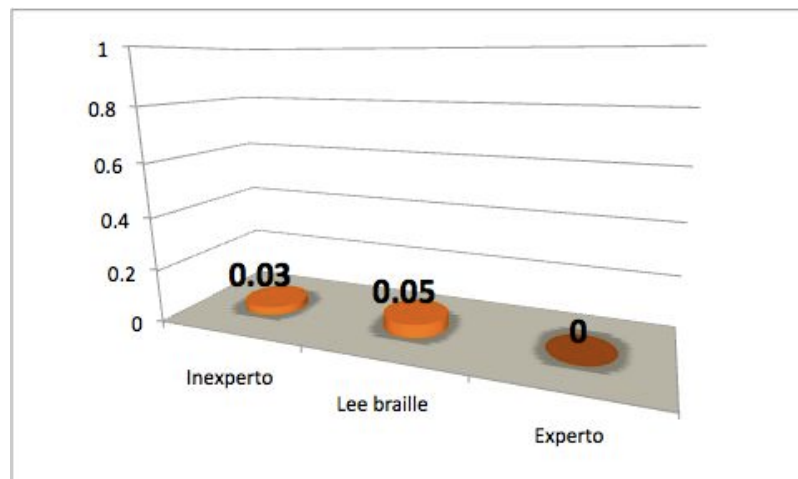


Gráfico 33: Media de los errores cometidos en el CASO 1 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes.

Grupo 2, CASO 1

Este caso analiza los datos obtenidos entre distintos perfiles de participantes dentro del Grupo 2. En él se aprecia por un lado, un incremento general en los tiempos de localización (Gráficos 34 y 35) respecto al Grupo 1, como ya se ha comentado en el apartado anterior en el que se analizaban los datos de manera general. Por otro lado, las diferencias entre tipos de participantes y su experiencia previa se agudiza también respecto al Grupo 1, hasta el punto en que algunas de ellas son significativas, como en el caso de los datos que comparan el tiempo de localización empleado entre los participantes videntes y los invidentes, los cuales señalan que un usuario invidente ante un plano o símbolos táctil con relieve plano, como por ejemplo un plano termoconformado, tiene un comportamiento más eficaz que un usuario vidente, aunque estas diferencias no

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

se han revelado en la comparativa entre participantes según su experiencia.

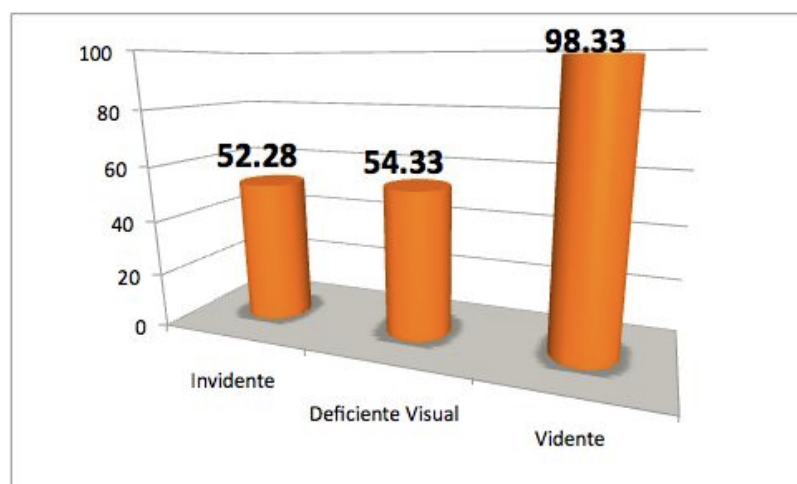


Gráfico 34: Distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su perfil, dentro del Grupo 2 en el Caso 1.

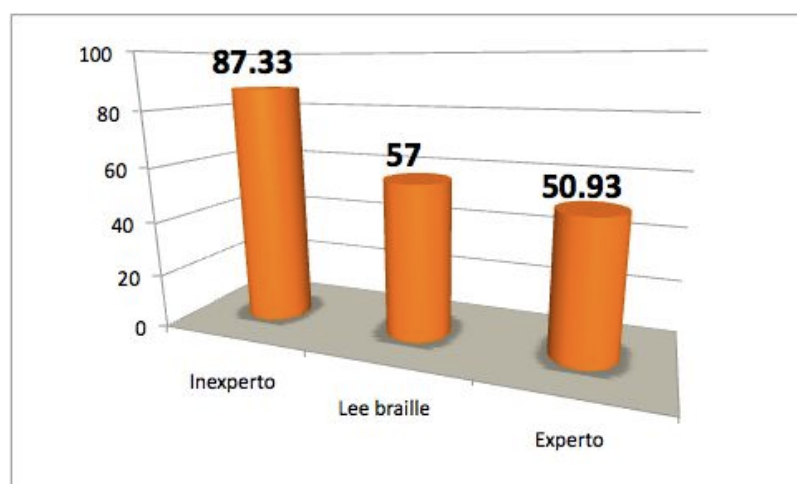


Gráfico 35: Distribución de tiempos medios de los diferentes tipos de participantes, según su experiencia previa, dentro del Grupo 2 en el Caso 1.

Desde la perspectiva de los errores cometidos por los participantes del Grupo 2 con el plano termoconformado, se observa que entre el tipo de discapacidad de estas personas no existen grandes diferencias estacables (Gráfico 36), apenas 0.12 puntos entre extremos (Invidente-Vidente)

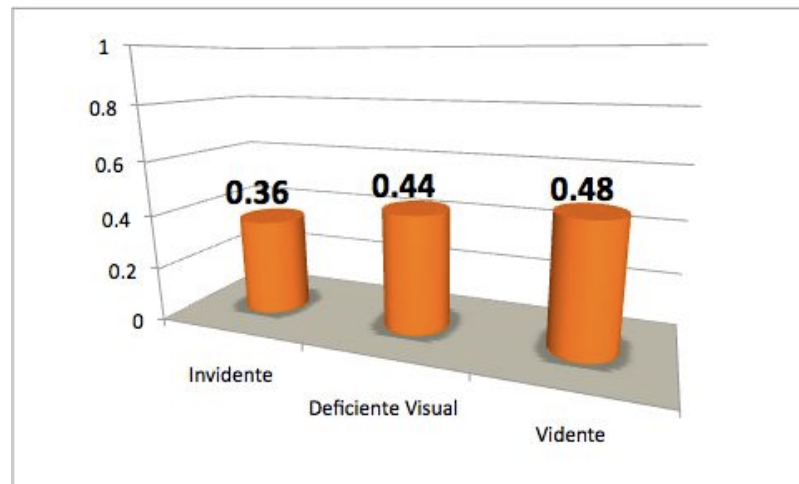


Gráfico 36: Media de errores cometidas por los participantes, según su perfil, del Grupo 2 en el Caso 1.

Aunque este patrón no se repite en el caso del análisis entre participantes según su experiencia (Gráfico 37), ya que la diferencia en los fallos cometidos entre participantes inexpertos e expertos es significativa con un tamaño de efecto y poder altos según los datos expuestos en el apartado de Resultados (Véase RESULTADOS DEL Experimento E, Plano táctil interior en página 205). Los participantes expertos están acostumbrados al uso de este tipo de planos, los inexpertos, por su parte, se encuentran por primera vez ante este fenómeno y no han podido aprender o desarrollar estrategias de exploración táctil que les permita encontrarse en las condiciones en las que se encuentra un experto. El hecho es que incluso los usuarios que habitualmente leen Braille pero no son expertos en el tema de los gráficos tangibles también han obtenido unos resultados incluso peores que los inexpertos, aunque con una desviación estándar del orden de hasta casi tres veces superior al resto de perfiles, hecho que indica una amplia dispersión dentro de este grupo, en el que se puede encontrar individuos capaces de realizar las tareas casi como unos expertos, y otros que, sin embargo, han encontrado dificultades.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

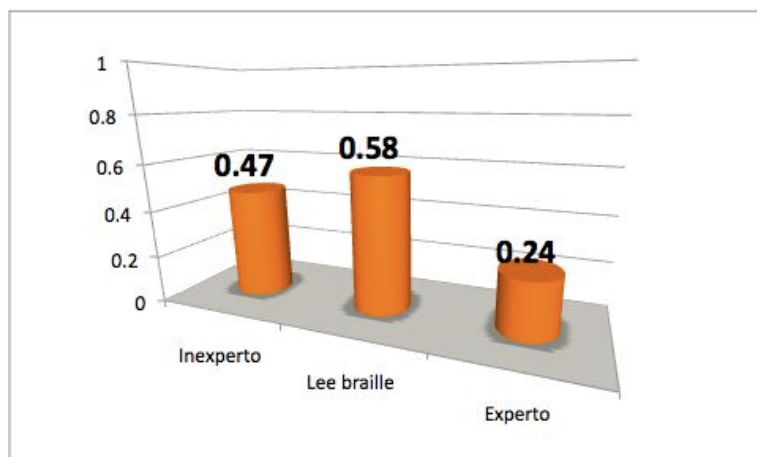


Gráfico 37: Media de errores cometidas por los participantes, según su experiencia previa, del Grupo 2 en el Caso 1

Así, en el Grupo 2, existe una diferencia fundamental si observamos el fenómeno desde una distancia que nos permita comparar estos datos con los del Grupo 1, en aquel la variable tiempo funcionó de manera igual en todos los participantes, sólo existiendo diferencias en la variable error para el caso que compara los expertos con los inexpertos, mientras que en este caso el Grupo 2 la variable tiempo ha obtenido una diferencias entre los grupos de invidentes-videntes y también, como en el caso anterior, la variable error ha tenido unos resultados significativos entre expertos e inexpertos. Esto puede significar que un plano en Impresión 3D con símbolos volumétricos genera un poco menos de diferencias entre usuarios que un plano termoconformado, los usuarios sin experiencia son, como se ha observado, los más sensibles a estos cambios.

Por otro lado de los 24 pares comparados en todos los casos anteriores (8 casos x 3 comparaciones por contraste), sólo 3 comparaciones han resultado ser diferentes, con un denominador común, son los casos extremos donde por lo visto se agudizan estas diferencias, es decir, entre expertos e inexpertos y en una ocasión entre invidentes y videntes. Pero con los datos obtenidos no es posible determinar diferencias con seguridad entre los distintos perfiles analizados en este experimento. Cabría continuar realizando más pruebas, sobre todo, con participantes deficientes visuales, los más escasos en ambos grupos.

7.10.2. CASO 2. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TAREAS 2 Y 8

En la [Tabla 96](#) se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.


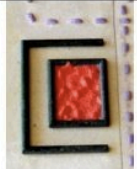

TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de Localización de símbolos con similares características (2D vs.2D) en cada plano
Tarea 2			Localización de símbolo Fin del recorrido
Tarea 8			Localización de símbolo Zona Táctil

Tabla 96: Tabla resumen con las tareas del Caso 2.

Si se analizan los datos de este caso en el que se comparan símbolos similares empleados en ambos grupos independientes, no se observan diferencias significativas, ni en los tiempos de localización de los participantes (Gráfico 38), ni tampoco en los errores cometidos (Gráfico 39).

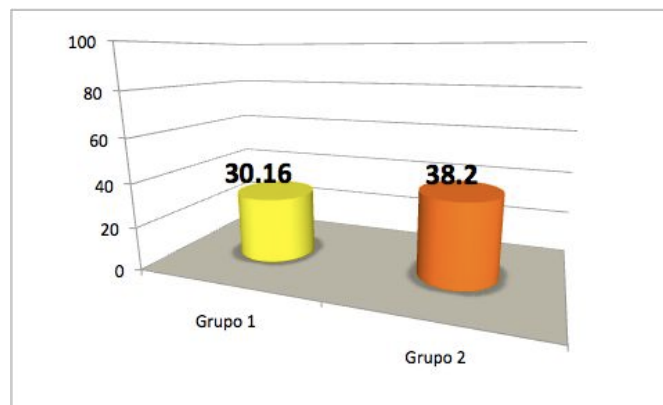


Gráfico 38: Distribución de tiempos de localización entre grupos: Media y Desviación estándar.

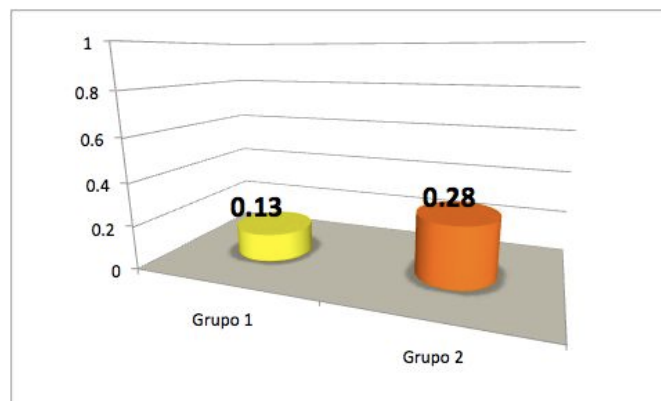


Gráfico 39: Media de errores totales cometidos por cada grupo.

Aunque en este último punto conviene hacer un pequeño inciso y tratar de responder a la pregunta de ¿por qué se han duplicado los errores en el Grupo 2 si se trata de símbolos similares?

Pues bien, como se aprecia desde la observación directa se produce un fenómeno conocido desde los principios gestálticos “la parte modifica al todo”, en ese sentido los símbolos táctiles volumétricos introducidos en el Plano A han permitido que exista una mayor variedad formal, que ha posibilitado emplear sólo un símbolo del tipo área textura (Zona Táctil) y sólo uno con forma de circunferencia (Fin del recorrido), mientras que en el Plano B, por su parte, se han empleado dos símbolos de tipo área-textura (Zona Táctil y Chimenea) y dos con forma de circunferencia (Fin de Recorrido y Pilar). En este último caso se abre la posibilidad de confusión entre pares similares, mientras que en el primero no existen elementos en el plano con tal forma que puedan ser susceptibles de ser confundidos con otros pares similares, ya que la diversidad formal es más amplia y se abre, además de a los tres elementos de diseño gráfico (puntos, líneas y áreas-texturas) (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982), a un cuarto grupo, escasamente empleado en el diseño de planos táctiles, los elementos volumétricos (Wong, 1986) que, como se aprecia, en este experimento, si son empleados con un poco de "tacto" pueden dar buenos resultados en su conjunto.

Por último, en relación a la pequeña reducción de tiempos del Grupo 1, parece ser que el factor sistema de producción haya posibilitado esta pequeña mejoría, ya que los grupos independientes son homogéneos en sus perfiles de discapacidad y experiencia con los planos táctiles. Así, la Impresión en 3D empleada en el Plano A posee mayor resolución y un acabado dimensional más parecido al modelado original generado mediante diseño asistido por ordenador, que el Plano B fabricado mediante termoconformado y que entre otras cosas, no posee la definición geométrica del anterior sistema.

a. Resultados entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 2 Al analizar los datos obtenidos en este segundo caso del Experimento E, Plano táctil interior desde la perspectiva de la tipologías de perfil de los participantes, es decir, según su tipo de discapacidad (Invadente, Vidente y Deficiente Visual)(Gráfico 40) y su experiencia previa (Expertos, que saben leer Braille e Inexpertos)(Gráfico 41), no se han detectado diferencias estadísticamente significativas en los tiempos medios de localización, hecho que corrobora que la localización de símbolos con similares características obtienen unos resultados similares independientemente del tipo de participantes. Además en este caso se aprecia una mayor igualdad entre tiempos medios, en algunos

casos como el de los participantes Invidentes, los que leen Braille y los expertos se ha producido una inversión de resultados en los que los participantes del Grupo 2 han obtenido mejores tiempos con el plano termoconformado. Este medio les resulta más familiar que la propia Impresión en 3D del Plano A.

En cualquier caso conviene señalar que los participantes con Deficiencia visual han obtenido un tiempo de localización alto en el Grupo 2, el grupo que realizó las tareas con el plano termoconformado. Aunque este dato y los concernientes a esta tipología de participante conviene señalarlos como delicados ya que la muestra escasa de 3 participantes con deficiencia visual por grupo no parece suficiente para extraer conclusiones.

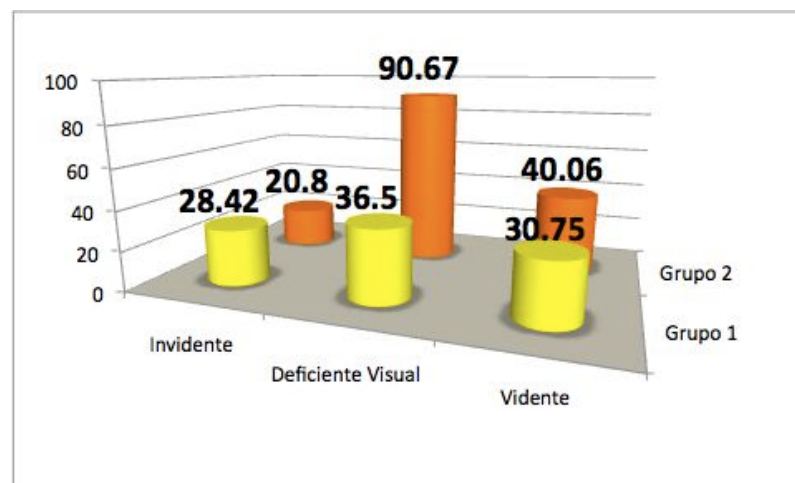


Gráfico 40: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante.

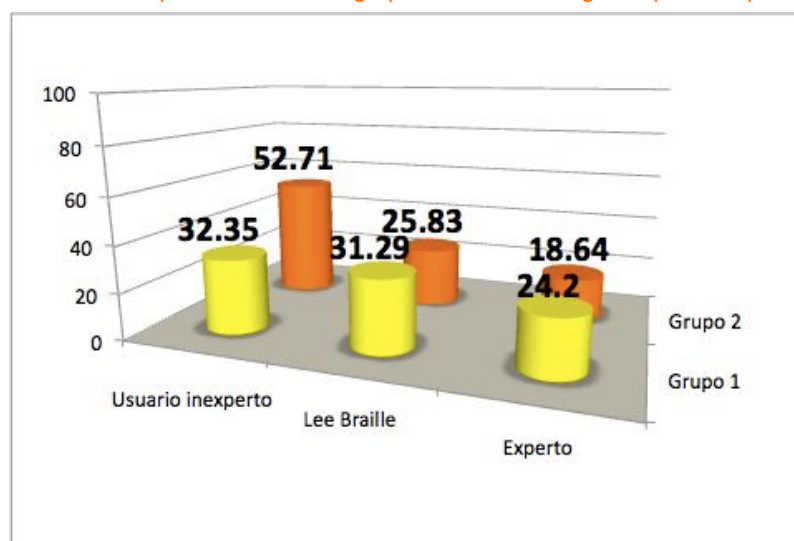


Gráfico 41: Tiempos medios entre grupos del Caso 2 según la experiencia previa del participante.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En lo concerniente a los datos obtenidos en el experimento relativo a errores y perfiles de participantes en este Caso 2 (Gráficos 42 y 43), parece repetirse el patrón de los datos anteriormente señalados en el análisis general de este apartado. Es decir, se han reducido los errores cometidos en el Plano A a pesar de que se trata de símbolos semejantes. La explicación puede deberse a dos motivos ya comentados con anterioridad, uno podría ser la mejora resolución y acabado dimensional de el sistema de Producción de Impresión en 3D, y otro la posibilidad de cometer más errores en el Plano B al existir una menor variedad formal de elementos empleados en el diseño del plano, hecho que posibilita la confusión en determinados símbolos que dentro del plano B son parecidos. De ahí que haya habido algunos perfiles de participantes, los Deficientes Visuales y los Expertos que no han cometido ningún fallo de ni localización, ni de confusión de los símbolos evaluados en este caso.

En cualquier caso, las pruebas estadísticas indican que no existen diferencias entre los diferentes perfiles, aunque en algunos casos la situación se encuentra en el límite, ya que tanto los usuarios invidentes, como los expertos han mejorado con *p-valores* menores de 0.05 los resultados del Grupo 1 respecto al 2, estos resultados no tienen suficiente potencia (*poder*) estadística (todos ellos se encuentran por debajo de 0.8) como para descartar definitivamente la hipótesis inicial, es decir aquella que presupone una medias similares.

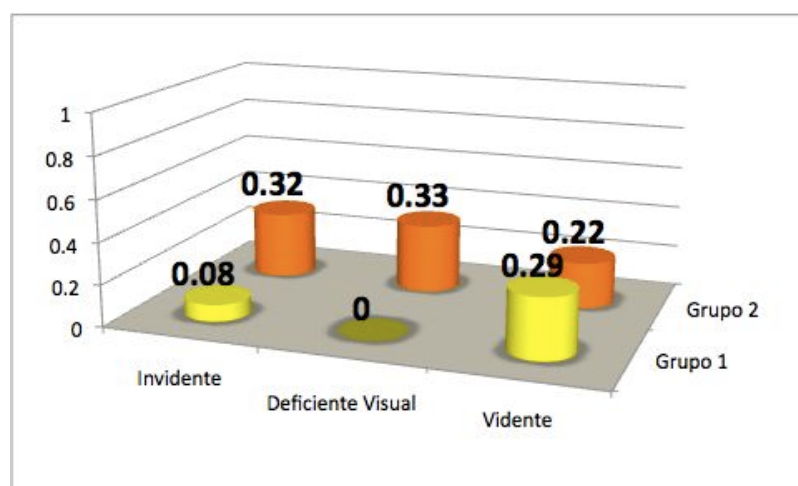


Gráfico 42: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según el perfil de participante.

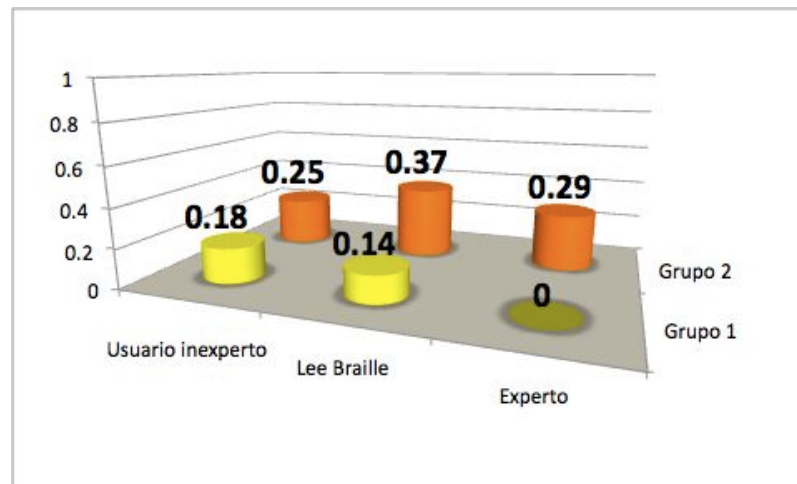


Gráfico 43: Media de Errores cometidos en ambos grupos en el Caso 2 según la experiencia previa de los participantes.

b. Análisis de los resultados intragrupos del CASO 2

Grupo 1, CASO 2

Las Gráficas 44 y 45 muestran un resumen de los datos más importantes que se han dado en la comparación interna del Grupo 1, aquel cuyos participantes realizaron las tareas con el plano de Impresión en 3D.

Se observa que el tiempo de localización dentro de este grupo es similar independientemente de la tipología de participante y de su experiencia (Gráficos 44 y 45). Esto significa que ante unos símbolos de similares han procedido todos los individuos de manera similar encontrando los símbolos en un tiempo alrededor de los 32 segundos, sin importar su tipo de discapacidad o su experiencia con las estrategias de exploración hápticas.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

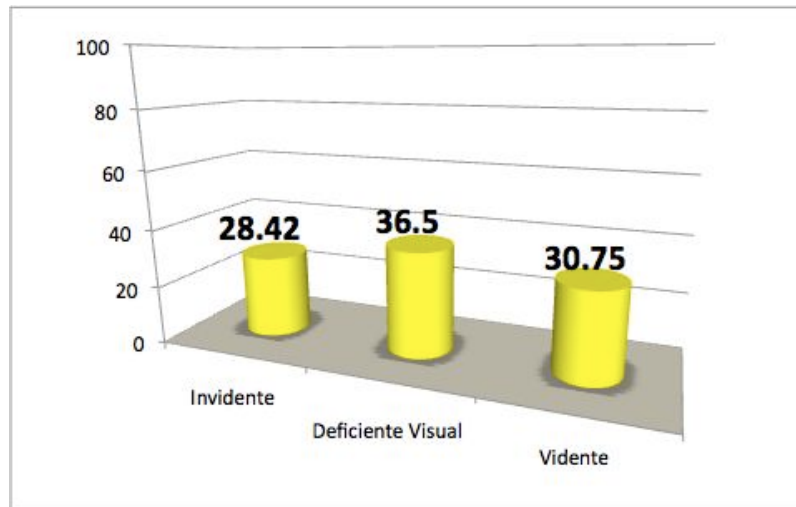


Gráfico 44: Tiempo medio empleado en el Caso 2 dentro del Grupo 1 según el perfil de participante.

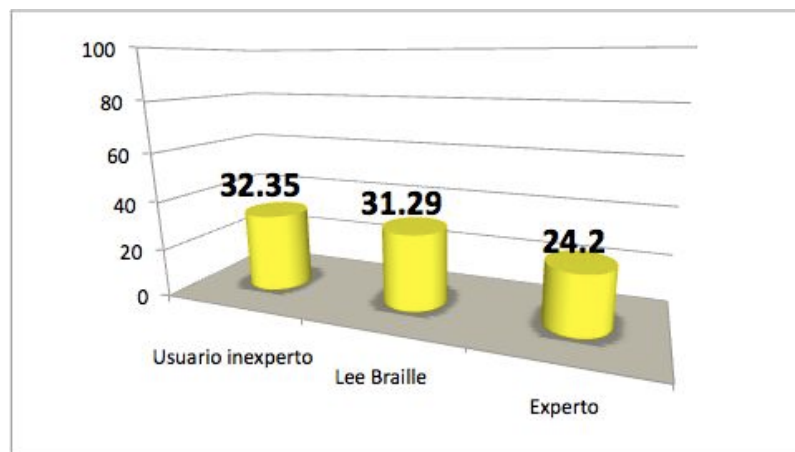


Gráfico 45: Tiempo medio empleado en Caso 2 dentro del Grupo 1 según la experiencia previa de los participantes.

Sin embargo, en lo concerniente a los errores se detectan casos en los que no se han cometido errores por parte de los participantes con deficiencia visual y los expertos (Gráficos 46 y 47). Aunque las diferencias no son estadísticamente significativas, conviene subrayar que mediante una mayor muestra podría detectarse algunas diferencias entre participantes videntes e inexpertos y los invidentes y expertos respectivamente, ya que además de los perfiles mencionados que no han cometido fallos, los participantes invidentes también obtuvieron unos resultados próximo a no cometer errores (0.08), mientras que los Videntes e Inexpertos en los dos casos fueron los que más errores cometieron (0.29 y 0.18 respectivamente), hecho por otro lado lógico, si se tiene en cuenta su nula actividad con los planos táctiles en el desarrollo de su vida cotidiana.

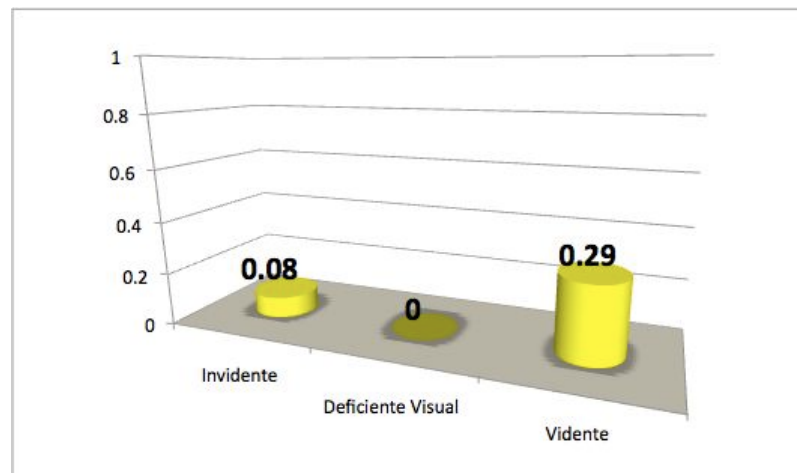


Gráfico 46: Errores medios cometidos en el Caso 2 según el perfil del participante dentro del Grupo 1.

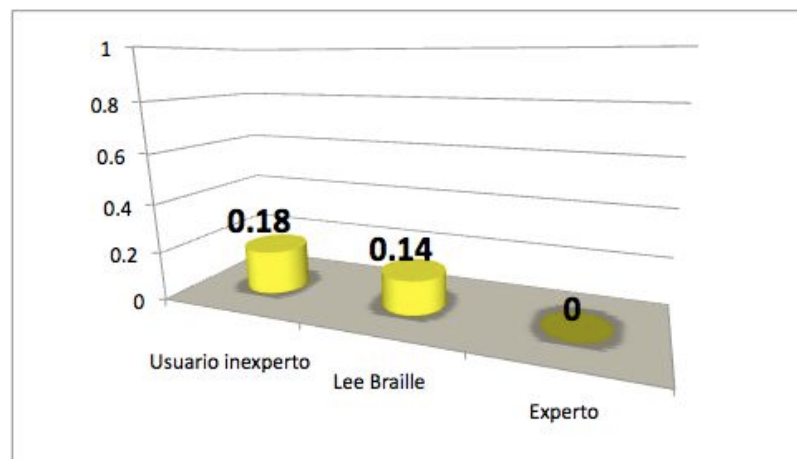


Gráfico 47: Errores medios cometidos en el Caso 2 según el perfil la experiencia previa de los participantes dentro del Grupo 1.

Grupo 2, CASO 2

En el Grupo 2, dentro del Caso 2 en el que se evalúan símbolos las pruebas estadísticas han indicado que no existen diferencias ni en la variable tiempo ni en la variable error dentro del Grupo 2. Tan sólo se observa un pico acentuadamente mayor en el perfil de participantes con Deficiencia Visual (Gráfico 48) que como se ha anotado al principio no representa desde la óptica estadística una diferencia significativa, posiblemente por dos motivos, uno la elevada desviación típica que indica unos resultados dispares, y otro la escasa muestra extraída, tan sólo 3 individuos.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

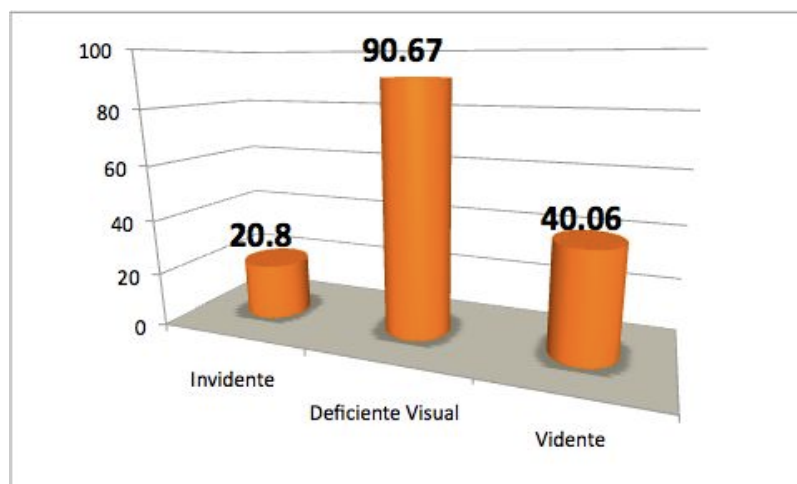


Gráfico 48: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 entre perfiles de participantes.

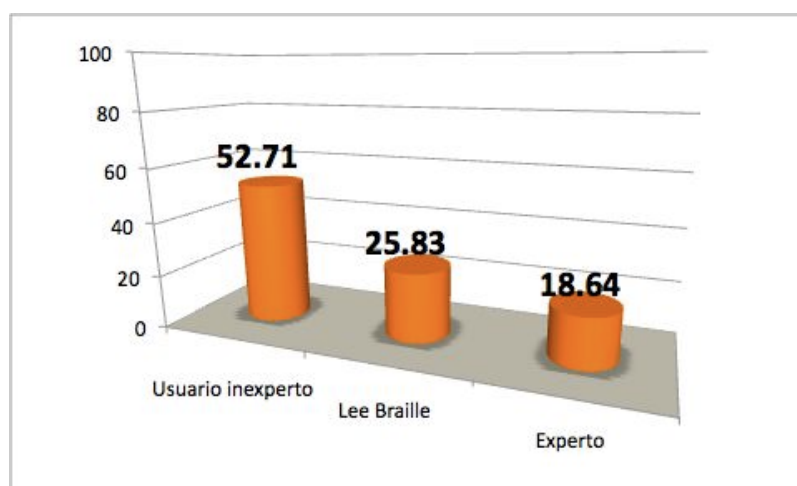


Gráfico 49: Tiempo medio en el Caso 2 dentro del Grupo 2 según la experiencia previa de los participantes.

Analizando los datos de este caso en relación a los errores cabe señalar que sus diferencias son mínimas y que pueden considerarse semejantes (Gráficos 50 y 51), es decir, los perfiles de participantes han realizado la tarea en un mismo rango de errores, incluso algunos usuarios como los Inexpertos y los Videntes han obtenido mejores resultados que sus colegas de grupo con una supuesta mayor experiencia en este tema.

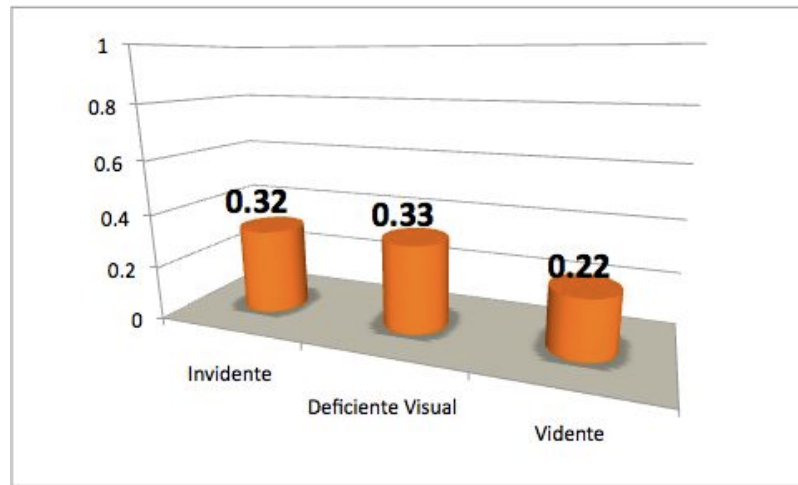


Gráfico 50: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 entre perfiles de participantes.

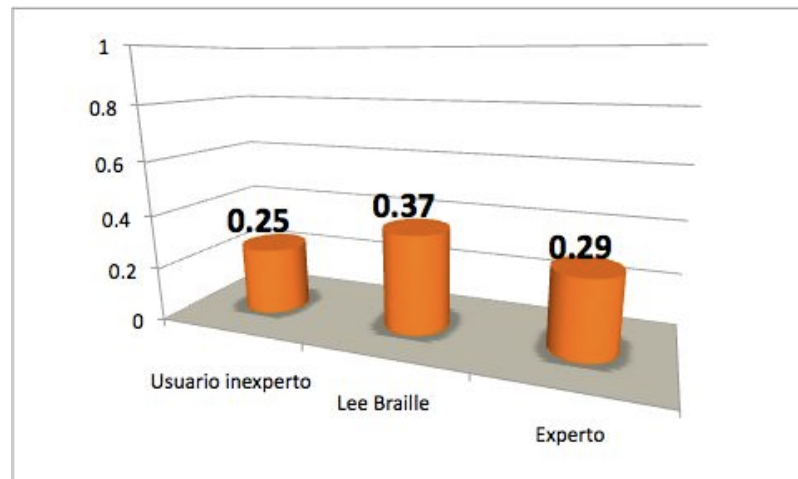


Gráfico 51: Media de Errores en el Caso 2 dentro del grupo 2 según la experiencia previa de los participantes.

Así, para resumir, tanto en el Grupo 1 como en el 2, se aprecian unos resultados similares que parecen indicar que en este experimento no se puede afirmar que existan grandes diferencias entre los perfiles analizados y los tiempos de localización, aunque puntualmente algunos casos de la variable error podrían ser estadísticamente significativos dentro del Grupo 1 con una ampliación del experimento. De esta manera, con los datos obtenidos no se pueden justificar diferencias importantes entre perfiles, por lo tanto el comportamiento de los participantes es similar dentro de sus respectivos grupos. Atendiendo además a que el caso escogido contempla el análisis interno, precisamente para evitar que el sesgo del volumen y contraste de altura actúe alterando los resultados, es decir, haciendo que algunos participantes mejoren sus prestaciones empleando el Plano

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A respecto al B, hecho que se ha observado durante este análisis en el Caso 1. En este caso la comparativa se realizó entre símbolos iguales, todos de relieve plano sobre termoconformado en el caso del Grupo 2 y sobre Impresión en 3D en el caso del Grupo 1.

7.10.3. CASO 3. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR. TAREAS 3, 5 Y 6

En la **Tabla 97** se resume la relación entre tareas, grupos y el tipo de símbolos empleados en este caso.

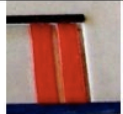


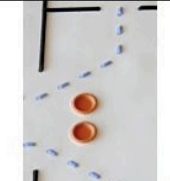


TAREAS	Plano A-Grupo 1	Plano B-Grupo 2	Tarea de recuento de símbolos con diferentes características (2D vs.3D) en cada plano
Tarea 3			Recuento de símbolo Escalera (3 unidades)
Tarea 5			Recuento de símbolo Pilar (4 unidades)
Tarea 6			Recuento de símbolo Acceso restringido (2 unidades)

Tabla 97: Tabla resumen con las tareas del Caso 3 dentro del Experimento E, Plano táctil interior.

Los datos de este apartado abordan las diferencias y similitudes entre tareas similares de recuento de símbolos en un plano. Mientras que en el Plano B los símbolos empleados son convencionales, es decir, símbolos empleados con cierta frecuencia en planos táctiles, en el Plano A, sin embargo, se han sustituido estos por símbolos con carácter tridimensional.

El hecho es que, en este caso en el que únicamente se han medido los errores cometidos al contar determinados símbolos que en sendos planos se representaban con la misma cantidad y posición, se aprecia en la gráfica correspondiente (**Gráfico 52**) que la cantidad de errores entre el Grupo 1 y el 2 es casi la mitad. Esta diferencia además viene reforzada por un tamaño de efecto alto (1.15) y potencia estadística alta (0.98).

Como sucedía en el Caso 1 en su apartado de errores, estos símbolos que se han trabajado desde tareas diferentes a las de localización, es decir, de recuento, también han obtenido unos resultados positivos que indican que la inclusión de símbolos táctiles con alto contraste en altura y con formas fácilmente discriminables y reconocibles al tacto pueden ayudar a mejorar el uso de

planos táctiles, siempre y cuando su empleo se haga combinado con el resto de elementos de diseño con el fin de aumentar la diversidad formal del plano; y su colocación siga ciertas pautas como la de dejar espacio libre alrededor del símbolo para acceder mediante la yema de los dedos y emplear un sólo nivel en el plano sobre el que sitúan los símbolos, evitando así aumentar la profundidad y por lo tanto complejidad del dispositivo. En definitiva actuando siempre en el diseño siguiendo el criterio de máxima simplicidad posible para mejorar la pregnacia y por lo tanto la percepción (Amick et al., 2002; Blasch et al., 1997; Edman, 1992), hecho que armoniza con los postulados gestálticos del fenómeno de la percepción visual (Weintraub & Walker, 1978) y con una serie de estudios que indican algunas similitudes entre ambos sistemas de percepción (Chang et al., 2007; Gallace & Spence, 2011; Harrar & Harris, 2007; Thompson et al., 2003).

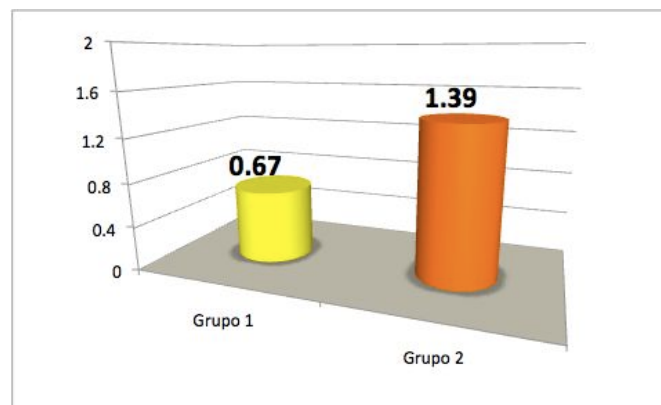


Gráfico 52: Media de errores totales cometidos por cada grupo.

a. Análisis entre grupos por tipología y nivel de experiencia previa. CASO 3

En este caso en el que se analizan tareas de recuento en dos grupos independientes que han tratado de contar símbolos con diferentes características (3D vs. 2D) en sus respectivos planos, se han encontrado diferencias significativas en los participantes Videntes (Gráfico 53) y en los Expertos (Gráfico 54).

En cualquier caso, los participantes del Grupo 2 obtuvieron una mayor tasa de errores que los del Grupo 1 que emplearon para realizar las tareas el plano con símbolos tridimensionales.

El grupo de Deficientes Visuales en el contraste realizado entre ambos grupos ha obtenido un *p-valor* de 0.05 pero sin potencia (*poder*) estadística suficiente, aunque con un alto *tamaño de efecto*.

Si se comparan estos datos con el caso más parecido que es el Caso 1 por ser el otro caso en el que se comparan símbolos en 2D con los tridimensionales. Se observa que en este caso existe

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

una mayor homogeneidad entre los participantes de ambos grupos, en el Caso 1 hubo dos contrastes significativos y otros dos casos en los que no cometieron errores con el Plano A. Esto puede deberse al tipo de tarea ligeramente diferente empleada en este caso, la cual mide igualmente los errores, pero desde la perspectiva de la localización, la tarea de recuento no parece agudizar tanto las diferencias como la propia tarea de localización.

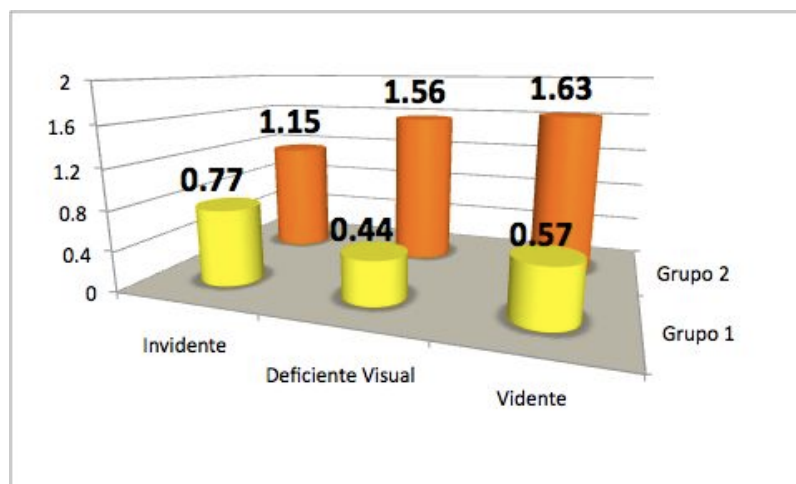


Gráfico 53: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según el perfil de participante.

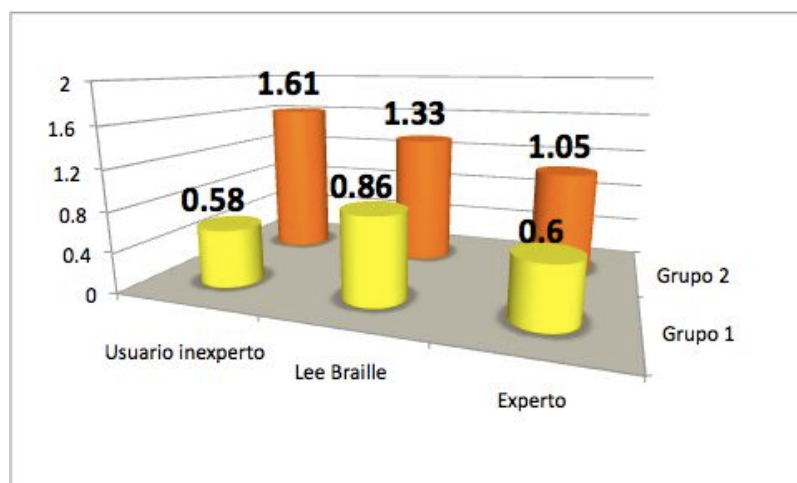


Gráfico 54: Media de errores cometidos entre grupos del Caso 2 según la experiencia del participante.

b. Análisis intragrupos del CASO 3

Grupo 1, CASO 3

En este caso dentro del Grupo 1 como se aprecia en las gráficas (Gráficos 55 y 56), se aprecian unos resultados similares tanto entre el tipo de participante según su deficiencia, como según su experiencia. No se vislumbran grandes diferencias, 0.26 puntos la máxima diferencia. Por lo que a la hora de contar símbolos en un plano todos los participantes se comportan de manera que sus resultados son parecidos si los símbolos a contar tienen un carácter volumétrico.

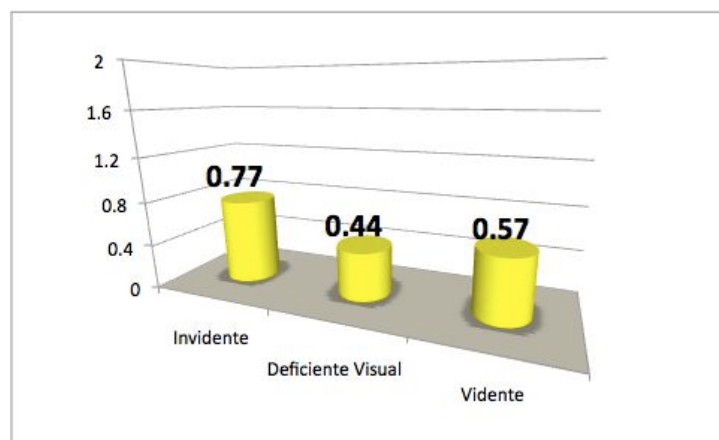


Gráfico 55: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según el perfil de participante.

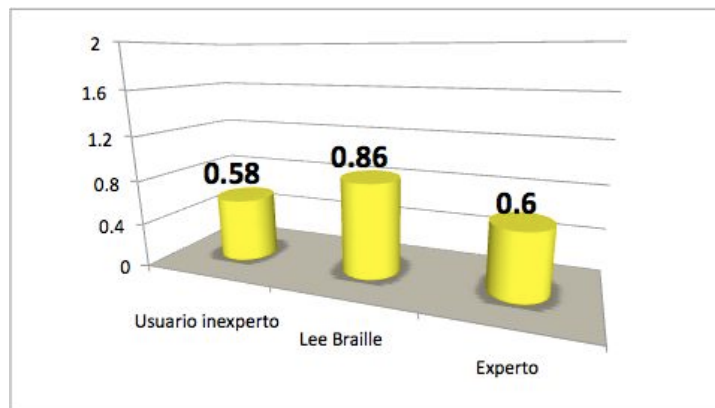


Gráfico 56: Media de Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante.

Grupo 2, CASO 3

Analizando los resultados de este caso en el Grupo 2 (Gráficos 57 y 58) se obtienen unos valores también con un rango de valores parecidos que muestran la inexistencia de diferencias entre los tipos de participantes según su discapacidad y según su experiencia. Es decir, cuando se trata

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

de contar símbolos con relieve plano en un mismo plano parece que no existen diferencias entre las distintas tipologías de participantes.

Por lo tanto, al contrario de lo que se observó en el caso similar (Caso 1), en el que se encontraron ciertas diferencias, en este caso, no se han observado comportamientos distintos entre participantes, por lo que se puede determinar que todos los participantes, tanto en un grupo, como en otro, actúan de modo semejante en la tarea de recuento a tenor de los resultados obtenidos.

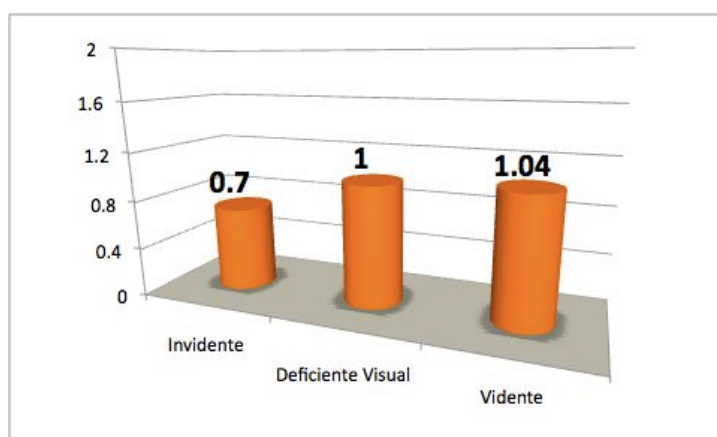


Gráfico 57: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 2 según el perfil de participante.

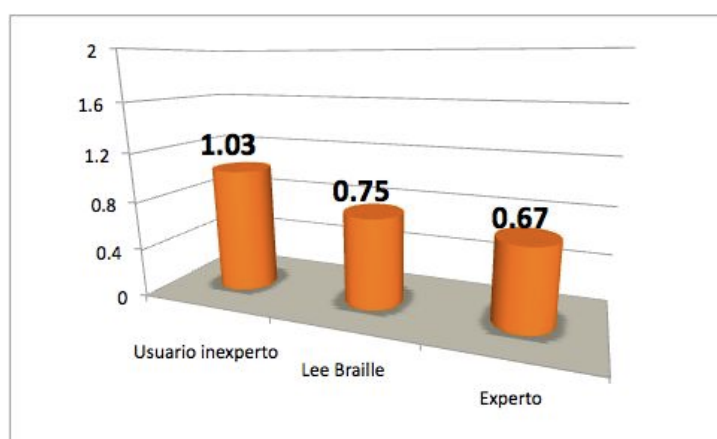


Gráfico 58: Errores cometidos en el Caso 3 dentro de Grupo 1 según la experiencia previa del participante.

7.10.4. CASO 4. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

a. Análisis Intragrupo. Grupo 2. CASO 4

En este apartado se pretende analizar los resultados obtenidos al comparar los símbolos introducidos en el Plano B considerados traducciones directas del dominio visual.

Se ha escogido un contraste interno, es decir, dentro del Grupo 2, para evitar los sesgos que

se puedan producir por otros efectos como por ejemplo los producidos con la introducción de contraste de altura de los símbolos homónimos del Plano A, hecho que como se ha visto en los casos anteriores, puede producir una reducción de errores.

Así, se recuerda que el símbolo Inicio y Ascensor del Plano B se consideran sendas traducciones directas del ámbito visual, mientras que el símbolo Fin es un símbolo abstracto, una circunferencia, comúnmente empleada para representar contenidos muy diversos, de hecho en este mismo plano se emplea la forma de circunferencia en relieve con un tamaño notablemente menor a la circunferencia que representa el Fin, para representar también las columnas interiores de la Planta Noble de la Casa Batlló de Gaudí.

En los errores totales obtenidos (Gráfico 59), se aprecia un rango de errores similar aunque el Ascensor ha obtenido un número de fallos mayor que el resto, el símbolos Inicio del recorrido se encuentra en una situación intermedia y el ítem Fin del recorrido ha sido el símbolo que menos errores ha provocado en los participantes. Si se analiza este orden no es difícil observar que a mayor simplicidad el símbolo provoca menos errores, en armonía con los principios gestálticos del fenómeno de percepción visual (Weintraub & Walker, 1978) y determinados estudios que comparan ambos sistemas perceptivos, el visual y el táctil (Chang et al., 2007; Gallace & Spence, 2011; Harrar & Harris, 2007; Thompson et al., 2003). Ahora bien, cuantitativamente y desde las pruebas estadísticas no se puede afirmar que las diferencias encontradas sean determinantes.

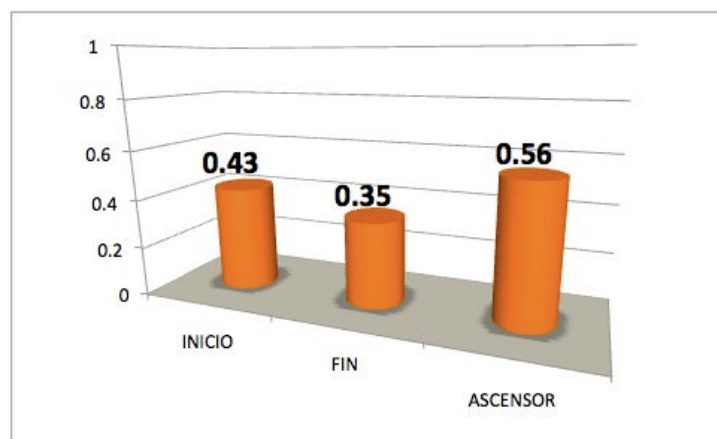


Gráfico 59: Media de errores totales dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

Pero, si analizamos estos mismos errores observando sólo los errores provocados en su localización o en su confusión con otros símbolos del mismo plano (Falsos aciertos)(Gráfico 60), sí que se encuentran algunas diferencias que en esta sección caben comentar. En primer lugar, si se

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

comparan las medias de errores de localización entre el símbolo Fin (abstracto) y el símbolo Ascensor se observa una potencia (*poder*) estadística suficiente, más de 0.8, que indica que el símbolo Fin ha sido más veces localizado que el propio símbolo Ascensor. En segundo lugar, la otra comparativa entre símbolo convención visual o no, es decir, la comparativa entre el símbolo Inicio y Fin, ha tenido una potencia (*poder*) muy próxima a 0.8 (0.74), hecho que indica que tal vez una mayor muestra de participantes hubiera discernido completamente si en las tareas de localización de este caso pudieran existir diferencias entre emplear un símbolo proveniente de una traducción directa o emplear un símbolo genérico de carácter abstracto (Imagen 92).



Imagen 92: De izquierda a derecha: símbolo Fin del recorrido, Inicio del recorrido y Ascensor.

En cualquier caso, conviene señalar que no nos es posible despejar la duda de si es el carácter simple del símbolo, más que su propio origen o no como traducción directa del ámbito visual, lo que hace que existan estas diferencias, ya que, como se ha visto el símbolo Fin es el más simple de todos y el que mejores resultados ha obtenido. Posiblemente, y este es un hecho que cabría corroborar en futuros experimentos, si en lugar del símbolo Fin representado con una circunferencia se hubiese representado con otra forma abstracta de carácter más complejo los resultados señalarían otros datos en los que las medias de errores de localización se equilibrarían.

El debate tal vez debe centrarse en la consecución de formas simples fácilmente discriminables y reconocibles al tacto, más que en su génesis como elemento gráfico cuyo origen es o no una convención visual.

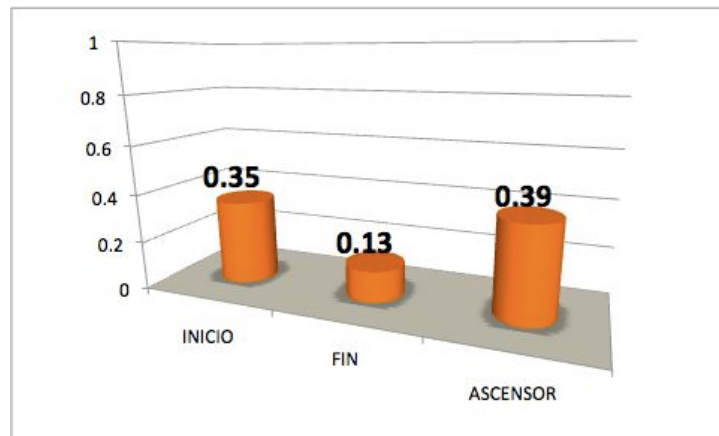


Gráfico 60: Media de los errores de localización dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

Por otro lado, si se analizan los datos obtenidos en este caso con los Falsos aciertos (Gráfico 61), se aprecia una inversión en las medias y en este caso, el símbolo Fin del recorrido ha obtenido un mayor número de errores (0.22), mientras que el Inicio ha sido el símbolo que menos errores ha provocado (0.09), aunque las pruebas estadísticas no señalan diferencias destacables. En este punto conviene señalar que los errores provocados por los falsos aciertos en el caso del símbolo Fin se deben principalmente a la existencia de un segundo símbolo (Pilar) que también posee forma de circunferencia y que se ha empleado en el mismo plano (Plano B). Según se señala en la observación directa ha habido algunos participantes que, a pesar de sus tamaños notablemente diferentes, han confundido estos dos símbolos. Esto explica el porqué un símbolo tan simple como una circunferencia ha obtenido incluso más errores que otros más complejos. De aquí se deduce que la selección de símbolos debe obedecer siempre a criterios de discriminabilidad entre ellos, incluso aunque éstos sean simples. Aún así, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que todo hace pensar que los mejores resultados del símbolos Fin del recorrido en el apartado anterior no sólo se deben a que se trata de un símbolo que no proviene de una convención visual o es simple, sino del contexto en el que se inserta.

7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

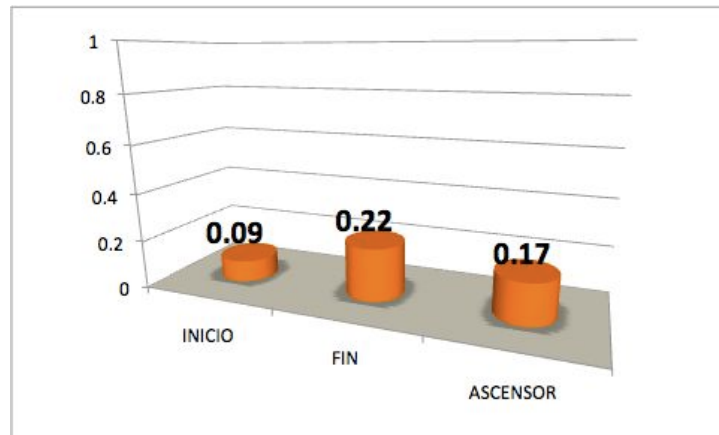


Gráfico 61: Media de Falsos aciertos dentro del Grupo 2 de los símbolos evaluados (Inicio del recorrido, Fin del recorrido y Ascensor).

b. Análisis entre Grupos. CASO 4

En este caso, al contrario que en el anterior, se comparan los símbolos convenciones visuales del Plano B con los símbolos que no los son del Plano A. Esto significa que este caso sí que atiende al contraste de altura para comparar unos tipos de símbolos con otros. En este caso sí que se han encontrado diferencias significativas con una potencia (*poder*) estadística alta, tanto en los tiempo de localización (Gráfico 62), como en casi todas las comparaciones en las que se ha contrastado la variables error. La excepción, en este caso, ha sido el símbolo Escalera. De tal manera que este símbolo en 3D (Plano A) ha provocado más errores en los participantes que el homónimo del Plano B (Gráfico 63). Esto se debe a dos motivos, uno la simplicidad formal del símbolo Escalera en el plano termoconfromado (Plano B), se trata de cuatro líneas paralelas que forman un conjunto con un carácter muy próximo a un símbolo tipo área-textura; y el segundo motivo, a la desafortunada colocación del símbolos escalera volumétrico dentro del plano en Impresión en 3D (Plano A), éste ha comunicado diferentes niveles de altura, y en este sentido en alguna ocasiones se ha encontrado “escondido” entre estos niveles de profundidad (Imagen 93), lo que ha dificultado su localización. En cualquier caso, los otros dos símbolos, Inicio y Ascensor en el grupo que utilizaba los elementos con volumen acentuado, han provocado un notable menor índice de errores, llegando en el caso del símbolos Ascensor en 3D a no provocar ni un sólo error.

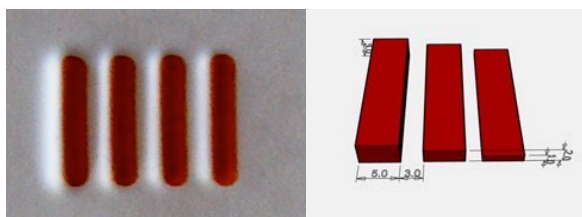


Imagen 93: De izquierda a derecha símbolo Escalera termoconformado y en 3D.

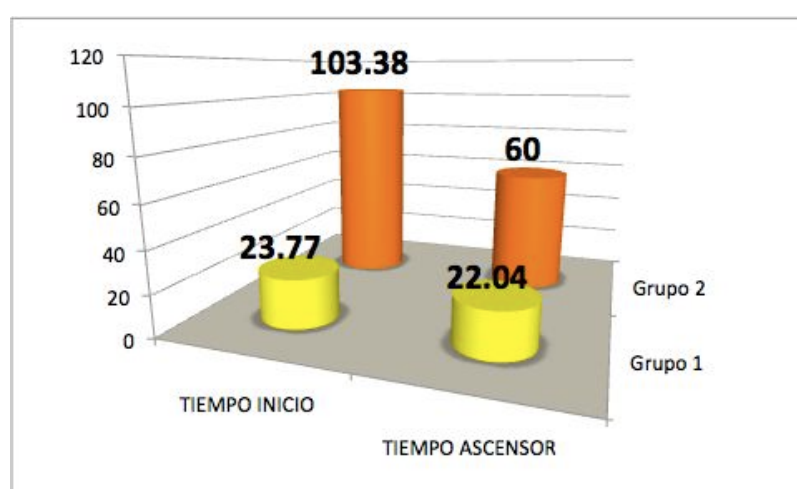


Gráfico 62: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor.

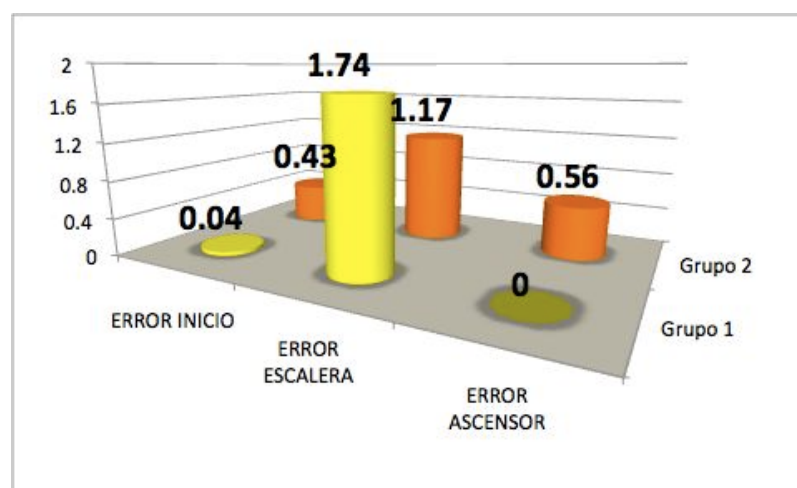


Gráfico 63: Media de tiempos de localización entre grupos en los símbolos Inicio y Ascensor; y media de errores totales entre grupos en los símbolos Inicio, Escalera y Ascensor.

7.10.5. RESUMEN DEL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

Como se ha apreciado en el Caso 1 y en el 3, tanto la variable Tiempo, como la variable Error han reducido significativamente sus ratios con los participantes que han empleado el Plano A, aquel en el que se combinan los símbolos tridimensionales con los símbolos considerados “traducciones directas” de los aspectos visuales a los táctiles. Además parece que excepción de los casos de perfiles “intermedios”, es decir, en los Deficientes Visuales y aquellos que saben leer Braille, en los demás perfiles ha habido siempre casos en los que se han mejorado los resultados al emplear el Plano A en alguna de las variables estudiadas, Tiempo o Error, desde Invidentes, hasta Videntes, desde Expertos a Inexpertos.

Los resultados del Caso 2, por su parte, señalan que no existen diferencias de tiempos ni errores entre casos similares, es decir, cuando se trata de localizar símbolos con relieve plano, a no ser las propias diferencias de emplear un sistema de producción u otro (Termoconformado vs. Impresión en 3D). Además entre tipologías de participantes no se han detectado diferencias significativas.

En relación a los resultados del Caso 4, ha habido un caso, la comparación en los errores de localización de los símbolos Fin y Ascensor (“traducciones directas”) dentro del Plano B en el que en se ha encontrado diferencias significativas, el resto de pruebas han determinado una igualdad de medias. Sin embargo, cuando estas comparaciones se realizan entre Grupos, se determina que sí que existen diferencias en los tiempos de localización de los símbolos en 3D respecto las “traducciones directas” en relieve plano. En los errores, salvo una excepción justificada, también parece existir una mejora significativa entre Planos.

Por último, en relación a las diferencias de perfil y después de observar los Casos 1, 2 y 3, en los que se ha analizado este factor, se han encontrado algunos casos puntuales en los que las diferencias internas entre usuarios de un mismo grupo son significativas, siempre entre casos extremos, es decir, entre expertos e inexpertos o entre Videntes e Invidentes, perfiles que en muchas ocasiones son coincidentes, aunque no siempre.

CONCLUSIONES

A continuación se describen las conclusiones de esta tesis, primero desde la perspectiva de cada uno de los experimentos del estudio y, posteriormente, desde una óptica más general que relaciona los objetivos, hipótesis y preguntas de investigación (Tabla 98) con los resultados obtenidos.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE TRABAJO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1: ¿Se puede afirmar que el uso de planos táctiles es un factor positivo para mejorar la orientación y la comprensión de espacios del patrimonio construido en personas con discapacidad visual?	Hipótesis 1: Los dispositivos táctiles orientados a personas con deficiencia visual o ceguera son un factor positivo para la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio construido.	Objetivo 1: Determinar si el empleo de planos táctiles es un factor positivo en la función de orientación y comprensión en espacios del patrimonio arquitectónico, para usuarios invidentes o deficientes visuales.
2: ¿Es posible extender el rango de símbolos fácilmente discriminables al tacto mediante el empleo de símbolos con carácter volumétrico (3D)?	Hipótesis 2: Una simbología que apliase en mayor medida las posibilidades formales de las tres dimensiones mejoraría la usabilidad de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera.	Objetivo 2: Determinar si ciertos símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D y, por lo tanto, podría extenderse el rango de símbolos táctiles discriminables incluyendo la categoría de símbolos 3D, propuestos en este estudio.
3: ¿Pueden los símbolos en 3D mejorar el uso de los planos táctiles?		Objetivo 3: Determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos.
4: En la selección de los símbolos táctiles para el uso en planos en relieve, ¿Es el factor “traducción directa de los aspectos visuales a los táctiles” un ítem determinante?	Hipótesis 3: Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil y no tanto desde sus aspectos visuales, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada.	Objetivo 4: Determinar cómo influye el factor “traducción directa” (de los aspectos gráficos al relieve) en la comprensión y discriminación de símbolos táctiles.

Tabla 98: Tabla resumen de las hipótesis, objetivos y preguntas de investigación.

8.1. EXPERIMENTO A, ENCUESTA Y MAPAS

8.1.1. ENCUESTA

Ese apartado se debe comenzar indicando que algunos datos de la encuesta no pueden considerarse concluyentes debido al pequeño tamaño muestral empleado en ella. Ahora bien, sí que se puede afirmar que la valoración de la utilidad global de los dispositivos táctiles entre usuarios invidentes y deficientes visuales es, cuanto menos, positiva, a razón de la nota media global, próxima a 9 sobre 10, obtenida en ella (Gráfico 2).

Otros aspectos como, por ejemplo, la preferencia por un tipo de dispositivo u otro (plano con-

8. CONCLUSIONES

junto-detalle), o las diferencias entre tipos de usuarios (videntes y deficientes visuales), contemplados en esta misma encuesta no pueden concluirse con certeza, a falta de estudios que profundicen en una muestra mayor que pueda sostener el análisis realizado.

8.1.2. MAPAS COGNITIVOS

Respecto el estudio a partir de la interpretación de los mapas cognitivos, se puede concluir, porque se ha dado en el 100% de los casos, sin excepción, que los mapas cognitivos realizados después de tomar contacto con el plano táctil de conjunto, representan la forma global del conjunto con mayor precisión, más ajustada a la realidad, y añaden nueva información (Gráfico 5) y, en algunos casos, la exposición al plano táctil deriva en reajustes de algunos elementos clave del entorno (Imágenes 86-91).

Por lo tanto, según este estudio, el uso de planos táctiles puede considerarse como un factor positivo en la mejora de la comprensión tanto de la orientación, como de los contenidos. Aunque en este último caso, como se aprecia en los resultados, la mejora del 14% respecto la señalización de ítems informativos no puede considerarse sustancial, es decir, como un aporte fundamental en la visita, posiblemente debido a que gran parte de la información expuesta proviene de la propia experiencia con el lugar y de la información verbal expuesta por el guía, más que del propio dispositivo táctil, el cual complementa y completa la información expuesta verbalmente. Este último aspecto podría corroborarse con un experimento que incluyese una muestra más grande que verifique los datos cuantitativos obtenidos con el recuento de los ítems informativos.

Sin embargo, la información comprendida por los usuarios de naturaleza gráfica es, con toda certeza, más ajustada a la realidad siempre después de tomar contacto con el plano táctil.

8.1.3. RESUMEN DE CONCLUSIONES DEL EXPERIMENTO A

La información obtenida en la encuesta recoge datos subjetivos sobre la valoración personal de ciertos dispositivos táctiles, mientras que la información obtenida mediante los mapas cognitivos tiene un carácter objetivo en tanto los usuarios no marcan una opinión, sino que plasman su esquema mental del entorno sobre un dibujo, aquel que ellos han percibido.

En cualquier caso, y en lo que afecta a este estudio, la conclusión de este apartado verifica la primera hipótesis planteada en esta tesis. En primer lugar, por la alta valoración subjetiva de los usuarios respecto a este tipo de dispositivos táctiles en la encuesta y, en segundo lugar, por las mejoras expuestas por los usuarios en los mapas cognitivos, tras tomar contacto con el plano táctil.

til. Este hecho se refuerza además en la información extraída de diversas fuentes (Blades et al., 2010; James, 1982; Lillo Jover, 1992; Serrano et al., 2009; Spencer & Travis, 1985) y con autores del ámbito nacional (Gratacós Masanella, 2006; Ochaíta & Huertas, 1988). **Por lo tanto, se puede contestar a la Pregunta 1 de investigación afirmativamente, considerando que el uso de planos táctiles es un factor positivo, en usuarios con discapacidad visual, para mejorar la orientación y la comprensión de espacios del patrimonio construido (Tabla 99).**

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE TRABAJO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1: ¿Se puede afirmar que el uso de planos táctiles es un factor positivo para mejorar la orientación y la comprensión de espacios del patrimonio construido en personas con discapacidad visual?	Hipótesis 1: Los dispositivos táctiles orientados a personas con deficiencia visual o ceguera son un factor positivo para la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio construido.	Objetivo 1: Determinar si el empleo de planos táctiles es un factor positivo en la función de orientación y comprensión en espacios del patrimonio arquitectónico, para usuarios invidentes o deficientes visuales
2	Hipótesis 2	Objetivo 2
3		Objetivo 3
4	Hipótesis 3	Objetivo 4

Tabla 99: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la primera hipótesis de trabajo.

8.2. EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL

En general, atendiendo al menor número de errores totales y de lectura en los símbolos en 3D respecto los de 2D (Gráfico 6), se puede afirmar que los símbolos táctiles volumétricos, en concreto los aquí propuestos, parecen adecuados para formar un nuevo grupo de simbología táctil reconocible que se añada a la ya existente con relieve plano y que, siguiendo la literatura, parte únicamente de elementos de diseño bidimensional (Amick et al., 2002b; Edman, 1992; Bentzen & Marston, 2010).

En relación a los 4 símbolos evaluados (Imagen 74), concretamente en el caso de la Pirámide (3D) y la "O" (2D) se ha observado que presentan un rango de aciertos en su lectura muy elevado que demuestra que podrían emplearse con garantías en un plano táctil siguiendo el criterio propuesto por Amick y sus colaboradores (Amick et al., 2002b). En el otro extremo se encontraría el símbolo "V" o cabeza de flecha, el cual ha mostrado un comportamiento diferente, respecto a todos los demás, produciendo el mayor número de errores de identificación este estudio.

La novedad de este trabajo se encuentra en los resultados positivos en la lectura de los símbolos Pirámide (3D) y Anillo (3D), que se sitúan al mismo nivel de reconocimiento que un símbolo

8. CONCLUSIONES

tan consolidado y simple como la circunferencia "O" (Meihoefer, 1969), con carácter de relieve plano (2D) (Gráfico 9).

Por otro lado, podría pensarse que un usuario invidente o experto poseerá mayores destrezas para realizar las tareas encomendadas relativas al reconocimiento táctil. Pero tanto el factor perfil de usuario, como experiencia previa parecen no ser factores especialmente significativos en la lectura táctil en este experimento en relación a las diferencias detectadas entre errores dentro de cada grupo. A pesar de ello, se ha observado que las personas sin experiencia previa en gráficos tangibles y los videntes son los que más se beneficiarían del uso de símbolos volumétricos porque cometen menos errores al reconocer un símbolo en 3D que uno en 2D.

Por último, atendiendo a la comparativa entres símbolos, se puede afirmar que los símbolos en 3D aquí testados son, al menos, tan eficientes en su uso como algunos de los mejores símbolos en 2D que ya se emplean en la actualidad. Así, contestando a la segunda pregunta de esta investigación, se puede enunciar que **es posible extender el rango de símbolos fácilmente discriminables al tacto mediante el empleo de símbolos con carácter volumétrico (3D)**, y a su vez cumplir con el segundo objetivo de determinar si ciertos símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D. Por lo tanto, se verifica parcialmente la segunda hipótesis, a falta de continuar analizando datos en otros experimentos aplicados en los que se compruebe que, empleando los símbolos aquí propuestos, se puede mejorar la usabilidad de los planos táctiles.

8.3. EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA

Los resultados de este experimento indican que **se produce una mejora en la discriminación de símbolos táctiles cuando se emplea la memoria háptica para recordar el orden de un grupo de 8 símbolos en una leyenda, si en ésta se introducen símbolos volumétricos y éstos se distribuyen bajo un criterio que los organice en grupos diferenciados por su contraste de forma y altura.**

Este hecho, verificaría, en parte, la segunda hipótesis de trabajo, respondería a la segunda pregunta y objetivo de investigación, corroborando las conclusiones del experimento anterior (Tabla 100). Así, sería posible extender el rango de símbolos táctiles discriminables incluyendo los símbolos volumétricos, ya que su empleo mejora el proceso de memorización porque, entre otros aspectos, es más fácil memorizar elementos de índole diferenciada que similares.

En este sentido, mediante la inclusión de símbolos volumétricos en una leyenda se acentúa el contraste formal, uno de los principios fundamentales en la discriminación táctil (Nolan & Morris, 1971), y se diferencia con más facilidad los símbolos al tacto, al emplear una categoría más de elementos morfológicos de diseño, el volumétrico (Wong, 1986), sobre los tres que cita la literatura (elementos puntuales, elementos lineales y elementos tipo áreas-textura) (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982). Este hecho puede facilitar la mejora en la memorización de la secuencia de símbolos en una leyenda. De esta manera se pueden aumentar los matices táctiles que se pueden emplear en un plano que integre símbolos volumétricos, ya que éstos no sólo tienen un comportamiento similar a los bidimensionales como se demostraba en el Experimento B, de discriminación táctil con plantillas de símbolos táctiles descontextualizados, sino que mejoran su uso si se presentan agrupados en la leyenda, registrando menos errores en su proceso de memorización (Gráfico 10). El propio acto de memorizar implica discriminar correctamente el elemento a recordar.

En otro orden de cosas, parece confirmarse que no existen diferencias entre los distintos tipos de usuarios y su experiencia previa con los dispositivos táctiles. Aunque en el caso de estos datos convendría ser prudentes y esperar a que nuevos experimentos confirmen esta conclusión, ya que las diferencias entre algunos tipos de usuarios han sido notables pero no significativas. Esto último lleva a pensar que futuros trabajos podrían dirigirse a investigar si realmente existen diferencias o no en la realización de este tipo de tareas según la experiencia previa y tipología de los participantes.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE TRABAJO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1	Hipótesis 1	Objetivo 1
2: ¿Es posible extender el rango de símbolos fácilmente discriminables al tacto mediante el empleo de símbolos con carácter volumétrico (3D)?	Hipótesis 2	Objetivo 2: Determinar si ciertos símbolos táctiles 3D tienen una eficiencia de uso similar a los empleados en 2D y, por lo tanto, podría extenderse el rango de símbolos táctiles discriminables incluyendo la categoría de símbolos 3D, propuestos en este estudio.
3		Objetivo 3
4	Hipótesis 3	Objetivo 4

Tabla 100: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la segunda hipótesis de trabajo. En marco de diferente color se aprecia el objetivo conseguido y su correspondiente pregunta de investigación.

8.4. EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO

Después de analizar las diferencias encontradas entre grupos en este estudio se puede concluir que **el empleo de símbolos volumétricos (3D) táctiles mejora claramente el tiempo medio de ciertas tareas como la localización de símbolos puntuales en un plano**. Empleando este tipo de símbolos en el diseño de planos táctiles se reduce el tiempo que el usuario dedica a encontrarlos de manera autónoma (Gráfico 22), sin ayuda verbal, con lo que se mejora su uso y se reduce posibles situaciones de frustración. Además, esta situación se da manteniendo una tasa de errores de lectura similar a los símbolos tradicionales, independientemente del tipo de perfil de usuario (Gráfico 23).

Por otro lado, los participantes invidentes presentan diferencias significativas a la hora de localizar los símbolos en cualquiera de los dos tipos de plano. Siendo, en cualquier caso, el perfil de usuario que en menos tiempo ha realizado las tareas propuestas en este experimento.

Finalmente y por lo anteriormente expuesto en este apartado, se cumple el tercer objetivo y se contesta afirmativamente a la segunda pregunta de investigación a cerca de si es posible mejorar el uso de planos táctiles empleando símbolos en 3D.

Por último, comentar que con este experimento sobre el uso de los símbolos propuestos aplicados a un plano real, y con los experimentos sobre discriminación táctil y memoria háptica (Experimentos B y C) queda verificada la segunda hipótesis de trabajo (Tabla 101). Por un lado, porque se ha constatado que en situaciones sin contexto específico (Experimento B, Discriminación táctil) los símbolos en 3D tienen un buen comportamiento en su uso, además de ser tan fáciles de memorizar como los actuales símbolos en relieve plano (Experimento C, Memorización háptica) y, por otro lado, porque en un contexto aplicado, como en el Experimento D, Plano táctil urbano su comportamiento sigue dando buenos resultados en comparación con la tipología de símbolos que se emplea en la actualidad.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE TRABAJO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1	Hipótesis 1	Objetivo 1
2	Hipótesis 2: Una simbología que apliase en mayor medida las posibilidades formales de las tres dimensiones mejoraría la usabilidad de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera.	Objetivo 2
3: ¿Pueden los símbolos en 3D mejorar el uso de los planos táctiles?		Objetivo 3: Determinar si la introducción de determinados símbolos táctiles 3D en planos en relieve puede mejorar la usabilidad de éstos.
4	Hipótesis 3	Objetivo 4

Tabla 101: Tabla resumen con la relación de ítems dependientes de la segunda hipótesis de trabajo. En marco de diferente color se aprecia los objetivos conseguidos en este experimento y sus correspondientes preguntas de investigación.

8.5. EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

El análisis de datos de este experimento corrobora los resultados obtenidos anteriormente, los cuales verificaban la segunda hipótesis de trabajo, es decir, que **el empleo de símbolos en 3D mejora la usabilidad de los planos táctiles**, particularmente cuando éstos se emplean combinados con otros en relieve plano. Además esto se produce de manera muy clara con la variable tiempo de localización (Gráfico 24) y generalmente con la variable error (Gráfico 25). El empleo combinado de los símbolos propuestos con los ya existentes aumenta la variedad formal al tacto.

Por otro lado, en relación a la cuarta y última pregunta de Investigación, se puede afirmar que **la traducción directa de los aspectos visuales a los táctiles no es un ítem especialmente determinante**, parece ser que **la eficacia de un símbolo táctil atiende más al carácter de simplicidad formal que a su génesis o traducción directa del lenguaje gráfico**. De tal manera que la simplicidad juega un papel fundamental en la naturaleza táctil (Amick et al., 2002; Blasch et al., 1997; Edman, 1992). Algunos símbolos de procedencia "visual" son adecuados al uso táctil, como es el caso del símbolo escalera representado por una serie de líneas paralelas, sin embargo, otros casos como el ascensor aquí estudiado, representado por un cuadrado y sus diagonales, son complejos de entender mediante el tacto debido a su complejidad formal. Por lo tanto, la naturaleza visual de un símbolo no garantiza que éste sea funcional. Lo que garantiza que el uso de un símbolo táctil sea eficiente es atender en el diseño y/o selección a la idiosincrasia particular del sentido tacto, por ejemplo, diseñando elementos sintéticos y simples para ser reconocidos y memorizados sin dificultad, y empleando el contraste táctil para que en un contexto determinado sean fáciles de localizar y de discriminar.

8. CONCLUSIONES

Así, se verifica la tercera hipótesis de trabajo en cumplimiento con el último objetivo específico de este estudio que en resumen dice, “Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada” (Tabla 102).

Por último, todo parece indicar que en este experimento existen diferencias puntuales entre perfiles de usuarios extremos (Invidentes y Videntes, Expertos e Inexpertos) según el análisis de los datos, aunque estas diferencias no muestran una pauta regular.

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	HIPÓTESIS DE TRABAJO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
1	Hipótesis 1	Objetivo 1
2	Hipótesis 2	Objetivo 2
3		Objetivo 3
4: En la selección de los símbolos táctiles para el uso en planos en relieve, ¿Es el factor “traducción directa de los aspectos visuales a los táctiles” un ítem determinante?	Hipótesis 3: Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil y no tanto desde sus aspectos visuales, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada.	Objetivo 4: Determinar cómo influye el factor “traducción directa” (de los aspectos gráficos al relieve) en la comprensión y discriminación de símbolos táctiles.

Tabla 102: Tabla resumen de la última hipótesis de trabajo y su relación con el objetivo y pregunta de investigación correspondiente. La tabla remarca los hitos cumplidos en este experimento.

8.6. CONCLUSIONES FINALES

En el inicio de esta investigación se plantearon una serie de cuatro interrogantes como punto de partida. El objetivo general era optimizar y ampliar la gama de símbolos táctiles aprovechando las posibilidades que brinda las nuevas técnicas de fabricación y prototipado rápido.

Previamente se habían realizado una serie de experimentos piloto que ayudaron a tomar contacto con el fenómeno de estudio. Algunas cuestiones poseían un carácter general, como es el caso de averiguar si los dispositivos táctiles son entendidos, por las personas con discapacidad visual, como elementos positivos y facilitadores de la orientación, comprensión del ambiente y de los contenidos en una visita a un espacio del patrimonio cultural construido. El resto de cuestiones planteaban unos interrogantes más concretos relativos a la simbología táctil, en particular a un tipo de simbología escasamente tratada en la literatura y que hipotéticamente podría mejorar la usabilidad de los planos táctiles, la simbología aquí denominada 3D. Además, cabía cuestionarse

a cerca de si los aspectos visuales eran o no los más adecuados para confeccionar un plano en relieve, el cual debía ser entendido también mediante el uso del tacto activo.

Estas cuestiones fueron abordadas en formato de hipótesis con unos objetivos específicos que indicaban la orientación y la meta que debía seguir la investigación. Para este fin se llevaron a cabo una serie de experimentos de naturaleza variada en los que el punto focal iba dirigido al usuario. Como se ha apreciado en el apartado anterior los objetivos de trabajo han ido consiguiéndose y, consecuentemente, las hipótesis de trabajo han ido cumpliéndose, tal y como se resume en la siguiente tabla (Tabla 103).

HIPÓTESIS DE TRABAJO	CUMPLIMIENTO
Hipótesis 1: Los dispositivos táctiles orientados a personas con deficiencia visual o ceguera son un factor positivo para la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio construido.	Si
Hipótesis 2: Una simbología que apliase en mayor medida las posibilidades formales de las tres dimensiones mejoraría la usabilidad de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera.	Si
Hipótesis 3: Si los símbolos en relieve se realizan desde su naturaleza táctil y no tanto desde sus aspectos visuales, la comprensión de estos planos por parte de usuarios con deficiencia visual o ceguera se vería mejorada.	Si

Tabla 103: Tabla resumen de las hipótesis cumplidas.

La experiencia llevada a cabo en Moixent (Valencia), en el primer experimento de este trabajo, verificaba la primera hipótesis planteada, relativa a la mejora de la orientación y la comprensión del entorno del patrimonio cultural construido mediante el empleo de dispositivos táctiles y, por lo tanto, de su rol dentro de la comprensión del entorno en personas con discapacidad visual. Aunque podía parecer obvio, cabía recoger la opinión de los usuarios implicados, así como las consecuencias de su uso, que finalmente resultó ser positiva, sobretudo acompañando los recursos táctiles de explicación verbal.

Una vez resuelta esta primera pregunta general, cabía indagar en la posibilidad de extender el rango de símbolos táctiles discriminables, incluyendo la categoría morfológica de los volumétricos (Wong, 1986) a las tres concebidas en la actualidad y que cita la literatura: puntos, líneas y planos-superficies (Amick et al., 2002; Bentzen & Marston, 2010; Edman, 1992; Schiff & Foulke, 1982).

8. CONCLUSIONES

De este modo, el resto de experimentos realizados en esta investigación iban encaminados a probar, en diferentes condiciones de uso, esta gama de símbolos.

Primero con dos experiencias en las que el uso de éstos se realizaba sin la condición de un contexto aplicado, aislando los elementos a evaluar en plantillas. Éste fue el caso de los experimentos de discriminación táctil y de memorización háptica. Los resultados de ambos indican finalmente que los símbolos propuestos eran fácilmente reconocibles y memorizables al tacto.

Después, cabía comprobar su uso aplicado, es decir, ya sobre un plano real o hipotético. Así los dos últimos experimentos sirvieron para comprobar el comportamiento de los símbolos propuestos en este estudio dentro de un marco próximo a la realidad, en su aplicación sobre unos planos táctiles que podrían considerarse representativos, como era el caso del plano del entorno y acceso al *Museu Marítim* y el de *La Casa Batlló*, el primero como ejemplo de aplicación al medio urbano y el segundo como aplicación en un espacio interior y visitable. Los resultados de estos experimentos permiten concluir, como se ha expuesto, que la integración de estos símbolos mejora algunos factores relacionados con la usabilidad de estos dispositivos: se producen menos errores y se tarda menos tiempo en localizar un símbolo de estas características en un plano táctil, hechos que mejoran su eficiencia en términos de reconocimiento y discriminación.

Por último, el material táctil diseñado para *La Casa Batlló* sirvió de base también para dar una respuesta a la última pregunta de investigación relativa al uso de traducciones visuales en relieve dentro de planos táctiles. Los resultados en este experimento muestran que seguir un criterio de simplicidad parece más adecuado que confiar en algunas convenciones visuales, ya que éstas pueden ser complejas formalmente y, por lo tanto, más difíciles de reconocer y discriminar al tacto (Amick et al., 2002; Blasch et al., 1997; Edman, 1992).

En definitiva, la selección de un grupo de símbolos reconocibles al tacto y diferenciables entre sí es uno de los puntos críticos en el diseño de planos táctiles. Algunos autores recomiendan no emplear leyendas en planos con más de 6 símbolos (Amick et al., 2002). Actualmente estos 6 símbolos se seleccionan dentro de los grupos de elementos de diseño bidimensional (puntuales, lineales y áreas-texturas) y esto supone cierta limitación en el rango diferencial geométrico que conlleva que puedan seleccionarse símbolos semejantes y por lo tanto confundibles. Si se incluyen símbolos de carácter volumétrico en el uso de planos táctiles, las diferencias de matices (sobre todo de contraste de altura) aumentan y con ello, la diversidad de selección. Así, según este estudio es posible introducir, por ejemplo, los símbolos Pirámide (3D) o Anillo (3D) como ele-

mentos de representación táctil porque tienen un alto nivel de reconocimiento y porque difícilmente se confundirán con los símbolos con relieves planos. Mejorando así la usabilidad de estos dispositivos.

FUTUROS ESTUDIOS Y APLICACIONES

Del desarrollo de esta tesis se puede lanzar una serie de temas que podrían ser interesantes desarrollar en un futuro. A continuación se describen brevemente:

- En primer lugar, podría ser interesante testear los símbolos en 3D aquí propuestos en otros entornos más allá del ámbito de la orientación en el patrimonio cultural. Los gráficos tangibles son un ámbito muy amplio que puede verse beneficiado de algunos resultados de este estudio. Es el caso, por ejemplo, de las gráficas empleadas en el aprendizaje de conceptos matemáticos que normalmente emplean los elementos en relieve.
- Este estudio puede abrir una puerta al diseño y a la investigación de nuevos símbolos volumétricos que puedan emplearse en planos táctiles con un tamaño, textura y forma adecuada a este sistema perceptivo. Convendría profundizar en nuevas formas que desde un carácter simple fuesen fáciles de entender por el sentido del tacto.
- Sería interesante comprobar los ratios de proporción más adecuados para los prismas básicos volumétricos, es decir, sus relaciones de altura, anchura y profundidad óptimas para una correcta percepción táctil, ya que esta parte del estudio quedaba fuera del alcance de este trabajo.
- Futuros estudios además deberían indagar en las posibilidades formales que la Impresión en 3D abre en el campo de los mapas táctiles. Con esta técnica se pueden diseñar planos inclusivos que incluyan matices de color, textura y forma interesantes para el diseño de dispositivos táctiles inclusivos. Además de aportar una buena resolución dimensional y de la capacidad de este sistema para producir formas en volumen.
- El tema de la audio-descripción combinada con un simbología reconocible y discriminable al tacto puede ser un aspecto de estudio que mejore la interacción de este tipo de planos táctiles, haciéndolos más fáciles de manejar. Hecho que podría tener multitud de aplicaciones en el ámbito del Patrimonio cultural.
- Sería interesante aprovechar la eficiencia de los símbolos en 3D en otros sistemas de producción plenamente integrados en el ámbito del diseño de planos táctiles, como el termoconformado. Con un diseño adecuado, es decir, siguiendo las recomendaciones de diseño para este proceso de fabricación sería posible generar un grupo de símbolos 3D termoconformados, que pudieran emplearse también con este sistema, actualmente

más extendido que las técnicas de Prototipado Rápido para la generación de planos táctiles (Imagen 94).

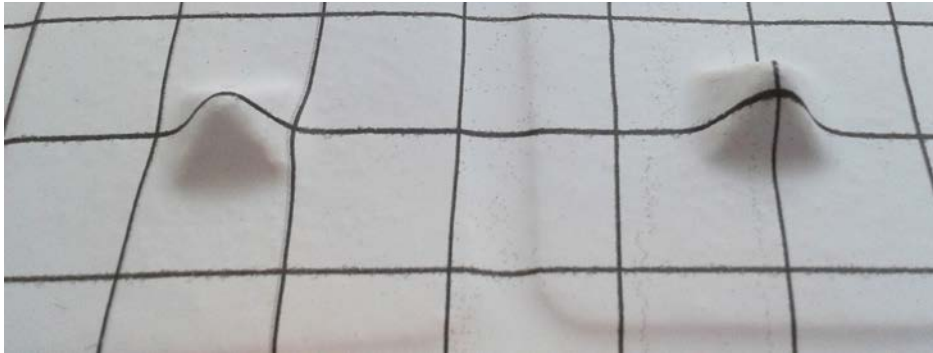


Imagen 94: Ejemplo de símbolo tridimensional (pirámide) termoconformado.

- En otro orden de cosas, convendría continuar ciertos experimentos que se han realizado aquí con el fin de ampliar la muestra y profundizar en las diferencias puntuales que se han encontrado entre los distintos tipos de participantes. Algunos experimentos parecen mostrar ciertas diferencias entre los participantes según su tipología y experiencia previa, sin embargo este hecho no se expone mediante un patrón claro y de manera homogénea en todos ellos. Resolver esta ambigüedad podría ser un tema a tratar en futuros trabajos de investigación.
- Por último, parece importante continuar algunos experimentos aplicados de esta investigación, realizando experiencias con los usuarios afectados en el propio contexto real, más allá de la actividad en el laboratorio.

9.1. POSIBLES APLICACIONES

La aplicación más inmediata de este trabajo es en la mejora de los planos táctiles gracias a la integración de símbolos 3D en ellos. Estos pueden aplicarse en cualquier ámbito, no sólo en el del patrimonio cultural.

Este hecho no representa una problemática especial bajo el sistema de producción de Impresión en 3D y algunos símbolos como la Pirámide serían perfectamente reproducibles en termoconformado. En cualquier caso emplear impresión en 3D para realizar planos táctiles parece una buena opción por las posibilidades que abre la reproducción de geometrías complejas y en color. Que, al mismo, tiempo, supondría en cierta manera replantar el marco teórico y pensar en términos de volumen además de en términos bidimensionales a la hora de emplear elementos de dise-

ño para realizar planos táctiles.

En este sentido, pensando en volumen, la aplicación de estos símbolos en maquetas táctiles seguramente podría también mejorar estas herramientas.

Por otro lado, el hecho de incluir símbolos volumétricos táctiles en planos en relieve amplía la variedad formal sobre la que un diseñador o técnico de rehabilitación puede escoger los elementos de un dispositivo gráfico-tangible. Hecho que posee múltiples aplicaciones en el campo, no sólo de la geografía, sino en la educación en general.

- ADON. (1986). *Symbols for tactual and low vision town maps*. Canberra: Department of Resources and Energy. Australian Division of National Mapping (ADON).
- AENOR. (2000). *UNE-EN ISO 13407. Procesos de diseño para sistemas interactivos centrados en el operador humano*. Madrid: Aenor.
- Agostaro, F., Genco, A., & Sorce, s. (2004). A collaborative environment for service providing in cultural heritage sites. *LNCS*, 3207, 765-775. doi:10.1007/b100039.
- Aldersey-Williams, H., Bound, J., & Coleman, R. (1999). *The methods lab: User research for design*. UK: Design for Ageing Network (DAN).
- Aldrich, F., Sheppard, L., & Hindle, Y. (2002). First steps towards a model of tactile graphicacy. *British Journal of Visual Impairment*, 20(2), 62. doi:10.1177/026461960202000203.
- Almeida, L. C., & Loch, R. E. N. (2008). Mapa tátil: Passaporte para a inclusão. *Extensio: Revista Eletrônica de Extensão*, 2(3), 3-36.
- Amenguel, C., & Cuppi, E. (1997). Haptic plans. En *Proceedings of the 18th International Cartographic Conference* (Vol. 4, pp. 2139-2145). Stockholm, Sweden: International Cartographic Association.
- Amick, N. S., Corcoran, J. M., Hering, S., & Nousanen, D. (2002). *Tactile graphics kit. Guidebook*. Lousville, EE. UU.: American Printing House for the Blind, Inc.
- de Andrade, L., & de Paula Santil, F. L. (2010). Cartografia tátil: Acessibilidade e inclusão social. *Revista Museologia e Patrimônio*, 3(1), 74-81.
- ANEOR. (2009). *UNE 17002. Requisitos de accesibilidad para la rotulación*. Madrid: AENOR.
- Armstrong, J. D. (1973). *The design and production of maps for the visually handicapped*. Blind Mobility Research Unit, Department of Psychology, University of Nottingham.
- Asensio, M., & Simon, C. (1997). The effectiveness of communicative instruments for blind visitors. In R. Loomis & M. Wells (Eds.), *Visitors studies: Theory, research and practice. Selected papers from 1996 visitors studies conference* (pp. 135-149). Alabama: VSA (Visitors Studies Association).
- Asensio, M., Pol, M. A. E., Gomis, González, C. et al.. (1998). El proyecto" publico y museos. *Museo*, 3, 123-148.
- Álvarez, E., Amengual, C., De Benito, J., Cabezas, G., De Cardenas, J., Casado, D. et al. (1997). *Curso básico sobre accesibilidad al medio físico: Evitación y supresión de barreras arquitectónicas, urbanísticas en el transpo*. Madrid: Real Patronato de Prevención y de

10. BIBLIOGRAFÍA

Atención a Personas con Minusvalía.

- Ballesteros, S. (1993). Percepción háptica de objetos y patrones realzados: Una revisión. *Psicothema*, 5(2), 311-321.
- Ballesteros, S., Millar, S., & Reales, J. M. (1998). Symmetry in haptic and in visual shape perception. *Perception & Psychophysics*, 60(3), 389-404.
- Bardisa, L. (1992). *Como enseñar a los niños ciegos a dibujar*. Madrid: ONCE.
- Barnes, C. (2011). Understanding disability and the importance of design for all. *Journal of Accessibility and Design for All*, 1(1), 30.
- Benoist, R. (1991). The many forms of visual handicap. In A. Wheatcroft (Ed.), *Museums without barriers: A new deal for disabled people* (pp. 86-92). London; New York: Fondation de France: ICOM y Routledge.
- Bentzen, B. L., & Marston, J. R. (2010). Teaching the use of orientation aids for orientation and mobility. In W. R. Wiener, R. L. Welsh, & B. B. Blasch (Eds.), *Foundations of orientation and mobility* (Third ed., Vol. II, pp. 315-351). New York: American Foundation for the Blind.
- Berla, E. P., & Murr, M. J. (1975a). The effects of noise on the location of point symbols and tracking a line on a tactile pseudomap. *The Journal of Special Education*.
- Berla, E. P., & Murr, M. J. (1975b). Psychophysical functions for active tactual discrimination of line width by blind children. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 17(6), 607-612.
- Berlá, E. P. (1982). Haptic perception of tangible graphic displays. In *Tactual perception: A sourcebook* (pp. 364-386). New York: Cambridge University Press.
- Bertin, J. (1981). *Graphics and graphic information processing*. Berlin, New York: de Gruyter.
- Bertin, J. (1983). Semiology of graphics: diagrams, networks, maps. In University of Wisconsin press.
- Blades, M., Ungar, S., & Spencer, C. (2010). Map use by adults with visual impairments. *The Professional Geographer*, 51(4), 539-553. doi:10.1111/0033-0124.00191.
- Blanco Zárate, L. (1998). Un práctico sistema para la elaboración de mapas táctiles. *Integración: Revista Sobre Ceguera y Deficiencia Visual*, (28), 25-28.
- Blanco-Zárate, L. . B. (2006). Elaboración de planos en papel de microcápsulas: Planos de internet modificados con microsoft word. *Integración. Revista de Ceguera y Deficiencia Visual*, 48, 25-37.
- Blasch, B. B., Wiener, W. R., & Welsh, R. L. (1997). *Foundations of orientation and mobility*. New York: AFB Press.

- Bradley, N. A., & Dunlop, M. D. (2003). A pathway to independence: Wayfinding systems which adapt to a visually impaired persons context. En *Proceedings of symposium on assistive technology--towards a better life* (pp. 23-27).
- Bradley, N. A., & Dunlop, M. D. (2005). An experimental investigation into wayfinding directions for visually impaired people. *Personal and Ubiquitous Computing*, 9(6), 395-403. doi:10.1007/s00779-005-0350-y.
- Caddeo, P., Fornara, F., Nenci, A. M., & Piroddi, A. (2006). Wayfinding tasks in visually impaired people: The role of tactile maps. *Cognitive Processing*, 7, 168-169. doi:10.1007/s10339-006-0128-9.
- Caivano, J. L. (2005). Semiótica, cognición y comunicación visual: Los signos básicos que construyen lo visible. *Tópicos del Seminario*, 13, 113-135.
- Cano, B. C., et al. (2000). Comunicación y visitantes con discapacidad visual en espacios expositivos. *Boletín de la ANABAD*, 50(1), 143-157.
- Cano, C., et al. (2008). Audiodescripción y elaboración de audioguías para personas con discapacidad visual grave: La norma UNE 153020: 2005. *RdM. Revista de Museología*, (41), 57.
- Celani, G. C., & Milan, L. F. M. (2007). Tactile scale models: Three-dimensional info graphics for space orientation of the blind and visually impaired. En *Virtual and rapid manufacturing: Advanced research in virtual and rapid prototyping* (pp. 801-805). London, UK: Taylor & Francis Group.
- Chang, D., Nesbitt, K. V., & Wilkins, K. (2007). The gestalt principles of similarity and proximity apply to both the haptic and visual grouping of elements. En *Proceedings of the eight Australasian Conference on User Interface-Volume 64* (pp. 79-86).
- Cheverst, K., Davies, N., Mitchell, K., Friday, A., & Efstratiou, C. (2000). Developing a context-aware electronic tourist guide: Some issues and experiences. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 17-24).
- Ching, F. D. K. (2005). *Arquitectura: Forma, espacio y orden*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2003). *Rapid prototyping: Principles and applications*. New Jersey: World Scientific.
- Clark, J., & Clark, D. D. (1994). Creating tactile maps for the blind using a GIS. En *American congress on surveying and mapping/american society for photogrammetry and remote sensing. ACSM/ASPRS international proceedings*. California Institute of Technology.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Clarkson, J., Coleman, Keates, & Lebbon. (2003). *Inclusive design: Design for the whole population*. Berlín, Germany: Springer- Verlag.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155-159.
- Comisión Braille Española. (2005). *Guías de la comisión Braille española. Signografía básica*. Madrid: Once.
- Comisión Braille Española. (2012). *Requisitos técnicos para la confección de planos accesibles a personas con discapacidad visual*. Madrid: ONCE.
- Consorti de les Drassanes Reials i Museu Marítim de Barcelona. (2010). Museu marítim de barcelona. [en línea]. <http://www.mmb.cat/>
- Consuegra Cano, B. (1997). La visita al museo de alumnos ciegos y deficientes visuales. *Integración*, (24), 47-50.
- Consuegra Cano, B. (1998). Maquetas accesibles a las personas con discapacidad visual. *Integración: Revista Sobre Ceguera y Deficiencia Visual*, (28), 16-20.
- Consuegra Cano, B. (2002). *El acceso al patrimonio histórico de las personas ciegas y deficientes visuales*. Madrid: ONCE.
- Correa, P., & Coll, A. (2011). Los mapas táctiles y diseño para todos los sentidos. *Trilogía: Ciencia-Tecnología-Sociedad*, 22(32), 77-87.
- Correa Silva, M. P. (2008). *Imagen táctil: Una representación del mundo*. Tesis presentada en la Universitat de Barcelona.
- Courage, C., & Baxter, K. (2005). *Understanding your users: A practical guide to user requirements methods, tools, and techniques*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Cryer, H., & Gunn, D. (2008). *Exploring tactile graphics. Which strategies work?*. Birmingham, UK: RNIB Centre for Accessible Information.
- Departamento de Ingeniería Cartográfica y Topografía, Universidad Politécnica de Madrid. (n.d.). *Diseño cartográfico* [en línea]. <http://redgeomatca.rediris.es/cartto2/portada/porta.htm>
- Doering, Z. D. (1999). Strangers, guests, or clients? Visitor experiences in museums. *Curator: The Museum Journal*, 42(2), 74-87.
- Eco, U. (1972). Semiología de los mensajes visuales. *VARIOS: Análisis de Las Imágenes*. Buenos Aires, *Tiempo Contemporáneo*, 25-33.
- Edman, P. (1992). *Tactile graphics*. New York: American Foundation for the Blind.
- Elliott, A. (2007). *Developing accessible museum curriculum: The research, development and validation of a handbook for museum professionals and educators*. Tesis.

-
- Espinosa, M. A., & Ochaita, E. (1998). Using tactile maps to improve the practical spatial knowledge of adults who are blind. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 92(5), 338-45.
- Espinosa Ruiz, A. (2006). El concepto de inclusión en programas interpretativos en museos. V *Jornadas AIP*.
- Espinosa Ruiz, A., & Guijarro Carratalá, D. (2005). La accesibilidad al patrimonio cultural. *Boletín de Interpretación*, 1-13. <http://www.interpretaciondelpatrimonio.com/boletin.htm>
- Estepa Giménez, J., Ávila Ruiz, R. M., & Ruiz Fernández, R. (2007). Concepciones sobre la enseñanza y difusión del patrimonio en las instituciones educativas y los centros de interpretación. Estudio descriptivo. *Enseñanza de Las Ciencias Sociales: Revista de Investigación*, (6), 75-94.
- First European Symposium on Tactual Town Maps for the Blind*. (1984). Bruselas, Bélgica.
- Frutiger, A. (2000). *Signos, símbolos, marcas, señales* (7 ed.). Barcelona: Gustavo Gili.
- Fujimoto, H. (2005). Standardization of display methods for tactile guide maps for buildings, stations and other public facilities. En *Tactile graphics 2005-the third international conference on tactile diagrams maps and pictures*. Birmingham: RNIB National Centre for Tactile Diagrams.
- Gallace, A., & Spence, C. (2011). To what extent do gestalt grouping principles influence tactile perception? *Psychological Bulletin*, 137(4), 538.
- García Hernández, M. (2000). Turismo y medio ambiente en ciudades históricas: De la capacidad de acogida turística a la gestión de los flujos de visitantes. En *Anales de geografía de la Universidad Complutense* (pp. 131-148).
- García Lucerga, M. A. (1993). *El acceso de las personas deficientes visuales al mundo de los museos*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos Españoles (O. N. C. E.).
- García Moreno, D. (2011). Diseño de sistemas de orientación espacial: Wayfinding. In J. Hernández Galán & C. García Jalón (Eds.), *Accesibilidad universal y diseño para todos. Arquitectura y urbanismo* (Vol. 2, pp. 36-56). Madrid: Fundación ONCE, Fundación Arquitectura COAM.
- Gardiner, A., & Perkins, C. (2002). Best practice guidelines for the design, production and presentation of vacuum formed tactile maps. *Tactile Diagrams Maps and Pictures Conference*. <http://www.tactilebooks.org/tactileguidelines/page1.htm>
- Gill, J. (2007). *Accessibility for visitors*. London, UK: Chief Scientist.
- Gill, J. M., & James, G. A. (1972). *A study on the discriminability of tactual point symbols*. Warwick
-

10. BIBLIOGRAFÍA

- Research Unit for the Blind.
- Golledge, R. G. (1992). Place recognition and wayfinding: Making sense of space. *Geoforum*, 23(2), 199-214.
- Golledge, R. G. (1993). Geography and the disabled: A survey with special reference to vision impaired and blind populations. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 18(1), 63-85.
- Goodrick, B. (1987). *A map user guide to reading tactual and low vision maps*. Canberra: Division of National Mapping, Dept. of Resources and Energy.
- Gratacós Masanella, R. (2006). *Otras miradas. Arte y ciegos: Tan lejos, tan cerca*. Barcelona: Octaedro.
- Gual, J., Puyuelo, M., & Lloveras, J. (2011a). *Three-dimensional tactile symbols relief maps for the visually impaired*. Delft, The Netherlands: Diversity and Unity. Proceedings of IASDR 2011, the 4th World Conference on Design Research, October 31 - November 4, 2011 (Doctoral Colloquium). International Association of Societies of Design Research (IASDR) and Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering.
- Gual, J., Puyuelo, M., & Lloveras, J. (2011b). Universal Design and visual impairment: tactile products for heritage access. *Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED11)*, vol. 5 (pp. 155-164).
- Gual, J., Puyuelo, M., & Lloveras, J. (2012). Analysis of volumetric tactile symbols produced with 3D printing. En *ACHI 2012, The fifth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions* (pp. 60-67). Valencia: International Academy, Research, and Industry Association, IARIA.
- Gual, J., Puyuelo, M., Lloveras, J., & Merino, L. (2012). Visual impairment and urban orientation. Pilot study with tactile maps produced through 3D printing. *Psychology: Ambiental-Bilingual Journal of Environmental Psychology*, 3(2), 239-250.
- Gual, J. (2011). Fundamentos del modelado y prototipado virtual en el diseño de productos. Castellón: Universitat Jaume I.
- Handa, K., Dairoku, H., & Toriyama, Y. (2010). Investigation of priority needs in terms of museum service accessibility for visually impaired visitors. *British Journal of Visual Impairment*, 28(3), 221. doi:10.1177/0264619610374680.
- Harder, A., & Michel, R. (2002). The target-route map: Evaluating its usability for visually impaired persons. *Journal of Visual Impairment & Blindness (JVIB)*, 96(10). <http://www.med.uni->

- magdeburg.de/~harder/target/target.html#s3
- Harrar, V., & Harris, L. R. (2007). Multimodal ternus: Visual, tactile, and visuo-tactile grouping in apparent motion. *Perception-London*, 36(10), 1455-1464.
- Heller, M. A. (1989). Texture perception in sighted and blind observers. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 45(1), 49-54.
- Herssens, J., & Heylighen, A. (2008). Haptics and vision in architecture. *Sensory Urbanism Proceedings 2008*, 102-112.
- Hinton, R. (1996). *Tactile graphics in education*. Edinburgh: Scottish Sensory Centre, Moray House Publications.
- Holmes, E., & Ardit, A. (1998). Wall versus path tactile maps for route planning in buildings. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 92(7), 531-4.
- Huertas, J. A., & Ochaíta, E. (1992). Diferentes procedimientos de externalización de la representación espacial: Un estudio evolutivo con niños ciegos. *Estudios de Sociología*.
- Ibáñez, A., & del Rosario, M. (1994). Los espacios culturales en la ordenación urbanística.
- Ibáñez, A., de Aberasturi, E. J., & y Noarbe, R. C. (2005). Aprendizaje del patrimonio: Una experiencia de integración del m-learning en el museo de arte e historia de zarautz. *Comunicación y Pedagogía*, 203, 36-39.
- ICOM. (1991). Museums and people with impaired vision. In *Museums without barriers: A new deal for disabled people* (Vol. IV). London; New York: Fondation de France: ICOM in conjunction with Routledge.
- INE. (2008). *Encuesta de discapacidad, autonomía personal y situaciones de dependencia (EDAD2008)*. www.ine.es.
- Jacobson, R. D. (1998). Cognitive mapping without sight: Four preliminary studies of spatial learning. *Journal of Environmental Psychology*, 18(3), 289-305.
- Jacobson, R. D., & Kitchin, R. M. (1997). GIS and people with visual impairments or blindness: Exploring the potential for education, orientation, and navigation. *Transactions in GIS*, 2, 315-332.
- James, G. A. (1982). Mobility maps. In W. Shiff & E. Foulke (Ed.), *Tactual perception: A source-book* (pp. 334-363). New York: Cambridge University Press.
- Jehoel, S., Dinar, S., McCallum, D., Rowell, J., & Ungar, S. (2005). A scientific approach to tactile map desing: Minimum elevation of tactile map symbols. En *Proceedings of XXII International Cartographic Conference, A Coruña*.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Jehoel, S., McCallum, D., Rowell, J., & Ungar, S. (2005). An evaluation of substrates for tactile maps and diagrams: Scanning speed and users preferences. *Journal of Visual Impairment & Blindness (JVIB)*, 99(02).
- Jehoel, S., McCallum, D., Rowell, J., & Ungar, S. (2006). An empirical approach on the design of tactile maps and diagrams: The cognitive tactualization approach. *British Journal of Visual Impairment*, 24(2), 67-75. doi:10.1177/0264619606063402.
- Jehoel, S., Sowden, P. T., Ungar, S., & Sterr, A. (2009). Tactile elevation perception in blind and sighted participants and its implications for tactile map creation. *Human Factors*, 51(2), 208-23.
- Joffe, E. (1999). *A practical guide to the ADA and visual impairment*. New York: American Foundation for the Blind.
- Joffe, E., & Siller, M. A. (1997). *Reaching out: A creative access guide for designing exhibits and cultural programs for persons who are blind or visually impaired* [Duración: 22 min] (Duración: 22 min) [Video VHS]. New York: AFB (America Foundation of the Blind) Press.
- Juncá Ubierna, J. A. (2008). Accesibilidad y patrimonio cultural. A la búsqueda de un equilibrio compatible. *Boletín del Real Patronato Sobre Discapacidad*, (64), 4-11.
- Kamrani, A. K., & Nasr, E. A. (2006). *Rapid prototyping: Theory and practice*. New York, N.Y.; Springer.
- Kandinsky, W. (1983). *Punto y línea sobre el plano: Contribución al análisis de los elementos pictóricos* (6 ed.). Barcelona: Barral.
- Keates, S., & Clarkson, P. J. (2003). *Countering design exclusion: An introduction to inclusive design*. Londres, Reino Unido: Springer Verlag.
- Kennedy, J. M. (1993). *Drawing & the blind: Pictures to touch*. Yale Univ Pr.
- Kennedy, J. M. (2003). Drawings from gaia, a blind girl. *Perception-London*, 32(3), 321-340.
- Kennedy, J. M. (2005). Lo tangible y lo visible en los dibujos que realizan las personas ciegas. *Integración. Revista Sobre Ceguera y Deficiencia Visual*, 44, 7-12.
- Kirchberg, V. (1996). Museum visitors and non-visitors in germany: A representative survey. *Poetics*, 24(2), 239-258.
- Klatzky, R. L., Lederman, S. J., & Metzger, V. A. (1985). Identifying objects by touch: An "expert system". *Perception and Psychophysics*, 37(4), 299-302.
- Krauze-Tomczyk, I., & Korycka-Skorupa, J. (2001). Maps for the blind and visually handicapped. En *Proceedings of the 20th international cartographic conference*. Beijing, China: International
-

-
- Cartographic Association.
- Krueger, L. E. (1982). Tactual perception in historical perspective. David katz's world of touc. In W. Schiff & E. Foulke (Eds.), *Tactual perception: A sourcebook* (pp. 1-54). New York: Cambridge University Press. .
- Kwok, M. G. (2005). Guideline for tactile figures and maps. En *Proceedings of GOTH-05 (Guidelines On Tactile and Haptic Interactions)* (p. 43). Saskatchewan, Canada: USERLab, University of Saskatchewan.
- Lakatos, S., & Marks, L. E. (1999). Haptic form perception: Relative salience of local and global features. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 61(5), 895-908.
- Lambert, L. L., & Lederman, S. L. (1989). An evaluation of the legibility and meaningfulness of potential map symbols. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 83(8), 397-403.
- Landau, S. (1999). Tactile graphics and strategies for non-visual seeing. *Threshold*, 19, 78-82.
- Landau, S. (2011). *Exhibit design relating to low vision and blindness. Tactile mapping for cultural and entertainment venues*. Bloomington: National Center on Accessibility.
- Landau, S., Bourquin, G., van Schaack, A., & Miele, J. (2008). Demonstration of a universally accessible audio-haptic transit map built on a digital pen-based platform. En *Proceedings of the 3rd international haptic and auditory interaction design workshop* (p. 23). Finlandia.
- de la Torre y Rizo, G. (1992). El lenguaje de los símbolos gráficos. In *El lenguaje de los símbolos gráficos. Introducción a la comunicación visual*. Méxio: Editorial Limusa. <http://es.scribd.com/doc/56758950/De-La-Torre-Lenguaje-De-Los-Simbolos-Gráficos>
- Laurel, B. (2003). *Design research: Methods and perspectives*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Lawrence, M. M., & Lobben, A. K. (2011). The design of tactile thematic symbols. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(10), 681-691.
- Lederman, S. J. (1981). The perception of surface roughness by active and passive touch. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 18(5), 253-255.
- Lederman, S. J. (1982). The perception of texture by touch. In W. Schiff & E. Foulke (Eds.), *Tactual perception: A sourcebook* (pp. 130-167). New York: Cambridge University Press.
- Lederman, S. J., & Kinch, D. H. (1979). Texture in tactual maps and graphics for the visually handicapped. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, Junio, 73(6), 217-227.
- Lehto, M. R., & Buck, J. R. (2008). *Introduction to human factors and ergonomcs for engineers: Communication and display design*. New York: Lawrence Erlbaum.
- Lillo Jover, J. (1992). Gráficos tangibles y orientación en el invidente. *Psicothema*, 4(2), 429-444.
-

10. BIBLIOGRAFÍA

- Lillo Jover, J. et al. (2008). Dos mitades de un mismo barril: Potencialidades y limitaciones de los dibujos hápticos. *Anales de Psicología*, 8(1), 103.
- Lillo Jover, L. (2008). Tacto inteligente: El papel de las estrategias de exploración manual en el reconocimiento de objetos reales. *Anales de Psicología*, 8(1), 91-102.
- Liu, A. L., Hile, H., Kautz, H., Borriello, G., Brown, P. A., Harniss, M., & Johnson, K. (2008). Indoor wayfinding: Developing a functional interface for individuals with cognitive impairments. *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, 3(1), 69-81.
doi:10.1080/17483100701500173.
- Lobben, A., & Lawrence, M. (2011). The use of environmental features on tactile maps by navigators who are blind. doi:10.1080/00330124.2011.595619.
- Lobben, A. K. (2005). Identifying the needs of tactile map makers. En *Proceedings of the 22th International Cartographic Conference*. A Coruña, Spain: International Cartographic Association.
- De Lobo, T. (2010). Legibility for users with visual disabilities. En *Technology enhanced learning: Quality of teaching and educational reform: 1st International Conference, TECH-EDUCATION 2010, athens, greece, may 19-21, 2010. Proceedings* (p. 92).
- Loch, R. E. N. (2008). Cartografía tátil: Mapas para deficientes visuales. *Portal Da Cartografia*, 1(1), 35-58.
- Lockwood, J. F. (1995). Differentiation of scaled circles for use on tactile cartographic displays. *Journal of Visual Impairment & Blindness*.
- Long, R. (2002). Spatial orientation and individuals with visual impairment. In D. A. Olson & F. DeRuyter (Eds.), *Clinician's guide to assistive technology* (pp. 331-349). St. Louis: Mosby.
- Loomis, J. M., & Lederman, S. J. (1986). Tactual perception. In K. Boff, L. Kaufman, & J. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance* (Vol. 2 (31), pp. 31(1-40)). New York (EE- UU.): John Wiley & Sons.
- Martínez Bercandino, C. (2012). *Estadística y muestreo* (13 ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Massie, T. H., & Salisbury, J. K. (1994). The phantom haptic interface: A device for probing virtual objects. En *Proceedings of the ASME winter annual meeting, symposium on haptic interfaces for virtual environment and teleoperator systems* (Vol. 55, pp. 295-300).
- McCallum, D., & Ungar, S. (2003). An introduction to the use of inkjet for tactile diagram production. *British Journal of Visual Impairment*, 21(2), 73. doi:10.1177/026461960302100206

-
- McCallum, D., Ahmed, K., Jehoel, S., Dinar, S., & Sheldon, D. (2005). The design and manufacture of tactile maps using an inkjet process. *Journal of Engineering Design*, 16(6), 525-544. doi:10.1080/09544820500273946.
- McCallum, D., Ungar, S., & Jehoel, S. (2006). An evaluation of tactile directional symbols. *British Journal of Visual Impairment*, 24(2), 83-92. doi:10.1177/0264619606063406.
- Meihofer, H. J. (1969). The utility of the circle as an effective cartographic symbol. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 6(2), 105-117.
- Miele, J. A., Landau, S., & Gilden, D. (2006). Talking TMAP: Automated generation of audio-tactile maps using smith-kettlewell's TMAP software. *British Journal of Visual Impairment*, 24(2), 93. doi:10.1177/0264619606064436.
- Miguel-Tobal, J. J., Escalona, A., & Lillo, J. (1992). Variables de personalidad en ciegos: Un estudio centrado en la ansiedad. *Integración*, 9, 31-37.
- Milan, L. F., & Celani, M. G. C. (2008). Maquetes táteis: Infográficos tridimensionais para orientação espacial de deficientes visuais. *Pesquisa em Arquitetura e Construção*, 1(2), 1-26.
- Millar, S. (1999). Memory in touch. *Psicothema*, 11(4), 747-767. .
- Millar, S., & Al-Attar, Z. (2003). How do people remember spatial information from tactile maps? *British Journal of Visual Impairment*, 21(2), 64. doi:10.1177/026461960302100205
- Moscardo, G., & Pearce, P. L. (1986). Visitor centres and environmental interpretation: An exploration of the relationships among visitor enjoyment, understanding and mindfulness. *Journal of Environmental Psychology*, 6(2), 89-108.
- Mozas martínez, F., Montes Tubio, F., & Ariza López, J. (2002). Propuesta de un modelo háptico para invidentes en la comunicación gráfica. En *XIV congreso internacional de ingeniería gráfica*. Santander, España.
- National, M. M. C. O. (1985). *A national specification for tactual and low vision town maps*. [Canberra]: The Council.
- Navarro Lizandra, J. L. (2010). Taller de expresión tridimensional. Castellón: Universitat Jaume I.
- NCA (National Center on Accessibility). (2011). *Exhibit design relating to low vision and blindness summary report*. Bloomington (EE. UU): NCA.
- Nicholson, J., Kulyukin, V., & Marston, J. (2009). Building route based maps for the visually impaired form natural language route. En *Proceedings of the 24th International Cartographic Conference*. Santiago de Chile, Chile: International cartographic Association.
- Nogueira, R. E. (2009). Standarization of tactile maps in brazil. En *Proceedings of the 24th*
-

10. BIBLIOGRAFÍA

- International Cartographic Conference, ICC2009*. Santiago de Chile (Chile): International Cartographic Association – ICA; Military Geographic Institute – IGM; FISA S.A.
- Nolan, C. A., & Morris, J. E. (1971). *Improvement of tactual symbols for blind children. Final report*. Louisville, Kentucky: Department of Health, Education, and Welfare; U. S. Office of Education; Bureau of Education for the Handicapped and American Printing House for the Blind.
- Ochaíta, E., & Huertas, J. A. (1988). Conocimiento del espacio, representación y movilidad en las personas ciegas. *Infancia y Aprendizaje*, 43, 123-138.
- Oliveira, C. G., Santos Júnior, D. N., & Lahm, R. A. (2010). Cartografia através de modelos táteis: Uma contribuição ao ensino de deficientes visuais. *Revista Educação Especial*, 1(1).
- ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles). (2006). *Características de la rotulación para personas con discapacidad visual*. Madrid: ONCE.
- ONCE (Organización Nacional de Ciegos Españoles). (2010). Datos visuales y sociodemográficos de los afiliados a la once.
- Packer, J., & Ballantyne, R. (2002). Motivational factors and the visitor experience: A comparison of three sites. *Curator: The Museum Journal*, 45(3), 183-198.
- Palacios, A., & Romañach, J. (2008). El modelo de la diversidad: Una nueva visión de la bioética desde la perspectiva de las personas con diversidad funcional (discapacidad). *Intersticios: Revista Sociológica de Pensamiento Crítico*, 2, 37-47.
- Papadopoulos, K., Livieratos, E., & Boutoura, C. (2001). A large scale city atlas for the blind. En *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference*. Beijing, China: International Cartographic Association.
- Parente, P., & Bishop, G. (2003). BATS: The blind audio tactile mapping system. En *Proc. Of the ACM southeast regional conference*.
- Perkins, C. (2001). Tactile campus mapping: Evaluating designs and production technologies. En *Proceedings of the 20th international cartographic conference*. Beijing, China: International Cartographic Association.
- Perkins, C. (2002). Cartography: Progress in tactile mapping. *Progress in Human Geography*, 26(4), 521-530.
- Perkins, C., & Gardiner, A. (2003). Real world map reading strategies. *The Cartographic Journal*, 40(3), 265-268.
- Pheasant, S., & Haslegrave, C. M. (2006). *Bodyspace: Anthropometry, ergonomics, and the design of work*. Boca raton: Taylor & Francis.

-
- Pike, E., Blades, M., & Spencer, C. (1992). A comparison of two types of tactile maps for blind children. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 29(3), 83-88.
- Pugliesi, E., & Decanini, M. (2011). Cartographic design of in-car route guidance for color-blind users. En *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*. Paris, France: International Cartographic Association.
- Purdue Research Foundation. (2002). *Tactile diagram manual*. West Lafayette, IN: A Division of the Office of the Dean of Students. Purdue University.
- Puyuelo Cazorla, M., Gual Ortí, J., Lloveras Macià, J., & Merino Sanjuan, L. (2011). Planos táctiles y orientación urbana: Una experiencia con discapacitados visuales en un recorrido por ciutat vella, en Barcelona. En XI Congreso de Psicología Ambiental. Almería. p. 50-60.
- Puyuelo Cazorla, M., Merino Sanjuán, L., Val Fiel, M., Felip Miralles, F., & Gual Ortí, J. (2010). Access to world heritage sites: Design products that transform sites into collective spaces for enjoyment and interactive learning. *Design Principles and Practices*, 4(1), 409-434.
- Puyuelo Cazorla, M., Val Fiel, M., & Felip Miralles, F. (2011). Gathering interaction, interface and aesthetics considerations in product design. Analyzing devices related to the accessibility of heritage. En *ACHI 2011, the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions* (pp. 164-169). Gosier, Guadeloupe, France: IARIA.
- Quezada, C. (2007). Potencia estadística, sensibilidad y tamaño de efecto: ¿Un nuevo canon para la investigación? *Onomázein: Revista de Lingüística, Filología y Traducción de la Pontificia Universidad Católica de Chile*, (16), 159-170.
- Regueira, J. L. R. (2002). Culture and tourism in post-industrial societies. *Gazeta de Antropología*, 18(09), 1-9.
- Rener, R. (1993). Tactile cartography: Another view of tactile cartographic symbols. *Cartographic Journal*, the, 30(2), 195-198.
- Robertson, B. S., & Dunne, C. H. (1998). Wayfinding for visually impaired users of public buildings. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 92(5), 349-355.
- Romero Moragas, C. (1994). Patrimonio, turismo y ciudad. *Boletín Informativo del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 16-21.
- Rovira-Beleta, E. (2003). *Libro blanco de la accesibilidad*. Barcelona: Edicions Upc.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2003). The world of touch: An international survey of tactile maps. Part 2: Design. *British Journal of Visual Impairment*, 21(3), 105-110.
-

10. BIBLIOGRAFÍA

- doi:10.1177/026461960302100304.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2003a). A taxonomy for tactile symbols: Creating a useable database for tactile map designers. *The Cartographic Journal*, 40, 273-276.
- doi:10.1179/000870403225012998.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2003b). The world of touch: An international survey of tactile maps. Part 1: Production. *British Journal of Visual Impairment*, 21(3), 98-104.
- doi:10.1177/026461960302100303.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2004). El mundo del tacto: Estudio internacional sobre mapas en relieve. Parte 1: Diseño. *Entre Dos Mundos. Revista de Traducción Sobre Discapacidad Visual*, 3, 15-23.
- Rowell, J., & Ungar, S. (2005). Feeling our way: Tactile map user requirements- a survey. En *International Cartographic Conference, La Coruña*.
- Ruiz, B., Pajares, J. L., Moreno, L., Gálvez, M. C., & Solano, J. (2008). *Guías multimedia accesibles. El museo para todos*. Madrid.
- Russier, S. (1999). Haptic discrimination of two-dimensional raised-line shapes by blind and sighted adults. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, July 1999, 421-426.
- Salmét, A. (2007). *Culture et handicap. Guide pratique de l'accessibilité*. Francia: Ministère de la culture et de la communication.
- Sanabria, L. (2010). Mapeo cognitivo y exploración háptica para comprender la disposición del espacio de videntes e invidentes. *Tecné, Epistemé y Didaxis*, (21).
- Sanders, M. S. (1993a). Auditory, tactual and olfactory displays. In *Human factors in engineering and design* (pp. 140-172). New York: McGraw-Hill.
- Sanders, M. S. (1993b). Information input and processing. In *Human factors in engineering and design* (pp. 43-78). New York: McGraw-Hill.
- Sánchez, J., & Sáenz, M. (2008). Orientación y movilidad en espacios exteriores para aprendices ciegos con el uso de dispositivos móviles. En *IX Congreso Iberoamericano de Informática Educativa*.
- Schey, J. A. (1987). *Introduction to manufacturing processes* (Vol. 2). McGraw-Hill New York etc.
- Schiff, W. (1982). A user's view of tangible graphics: The louisville workshop. In W. Schiff & E. Foulke (Eds.), *Tactual perception: A sourcebook*. New York: Cambridge University Press.
- Schiff, W., & Foulke, E. (1982). *Tactual perception: A sourcebook*. New York: Cambridge University Press.

-
- Scribner, S. (1986). Thinking in action: Some characteristics of practical thought. *Practical Intelligence: Nature and Origins of Competence in the Everyday World*, 13-30.
- Self, B. P., Van Erp, J. B. F., Eriksson, L., & Elliott, L. R. (2008). Human factors issues of tactile displays for military environments. *Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments*.
- Serrano, R., Medina, I., González, C., & Jaramillo-Molina, C. (2009). Recognition and appropriating of space on blind people through the cartography- Universidad del Valle Case. En *Proceedings of the 24th international cartographic conference*. Santiago de Chile, Chile: International Cartographic Association.
- Simonnet, M., Jacobson, R. D., Vieilledent, S., & Tisseau, J. (2009). Can virtual reality provide digital maps to blind sailors? A case study. En *Proceedings of the 24th international conference of cartography ICC09*. Santiago de Chile, Chile: International Cartographic Association.
- Sjöström, C., Danielsson, H., Magnusson, C., & Rassmus-Gröhn, K. (2003). Phantom-based haptic line graphics for blind persons. *Visual Impairment Research*, 5(1), 13-32.
- Smith, J. K., & Wolf, L. F. (1996). Museum visitor preferences and intentions in constructing aesthetic experience. *Poetics*, 24(2), 219-238.
- Spencer, C., & Travis, J. (1985). Learning a new area with and without the use of tactile maps: A comparative study. *British Journal of Visual Impairment*, 3(1), 5-7.
doi:10.1177/026461968500300103.
- Spencer, C., Morsel, K., Ungar, S., Pike, E., & Blades, M. (1992). Developing the blind child's cognition of the environment: The role of direct and map-given experiences. *Geoforum*, 23, 191-197.
- Taylor, M. M., Lederman, S. J., & Gibson, R. H. (1973). Tactual perception of texture. In M. Friedman & E. Carterette (Eds.), *Handbook of perception* (Vol. 3, pp. 251-272).
- Tevelyan, S. (1986). *Development and assesment of a tactile mobility map for the visually impaired*. Tesis.
- The Braille Authority of North America. (2011). Guidelines and standards for tactile graphics, 2010. [en línea]. <http://www.brailleauthority.org/tg/web-manual/index.html>
- Thompson, L. J., Chronicle, E. P., & Collins, A. F. (2003). The role of pictorial convention in haptic picture perception. *PERCEPTION-LONDON-*, 32(7), 887-894.
- Tortosa, L., García-Molina, C., Page, A., Ferreras, A., & Teruel, A. (1999). *Ergonomía y discapacidad*. Valencia: Instituto de Biomecánica de Valencia.
-

10. BIBLIOGRAFÍA

- Tu, Y. H., Liao, P. C., Lu, W. L., Lo, H. L., Wang, Y. L., & Hung, T. T. (2011). The effects of tactile types on the identification of tactile symbols. En *Proceeding of EAEFS 2011*. Hsinchu, Taiwan.
- Tu, Y. H., Wu, C. F., & Yeh, I. T. (2002). Evaluation of recognizing tactile pictures in different size display in sighted and blind people. En *The 6th Asian Design International Conference*.
- UNESCO. (1972). *Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natura*. [en línea] UNESCO. http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=13055&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2004). Works of antoni gaudí. [en línea] <http://whc.unesco.org/en/list/320/>
- Ungar, S. (2000). Cognitive mapping without visual experience. *Cognitive Mapping: Past, Present and Future*, 221-248.
- Ungar, S., Jehoel, S., McCallum, D., & Rowell, J. (2005). Tactualization of spatial information: Towards a perceptual-cognitive approach to tactile map design. En *Proceedings of XXII International Cartographic Conference A Coruña*.
- Vasconcellos, R. (1993). *A cartografia tátil eo deficiente visual: Uma avaliação das etapas de produção e uso do mapa*. Tesis.
- Vol'vzenílek, V., Kozáková, M., \St'ávová, Z., Ludíková, L., R\uu\vzi\vcková, V., & Finková, D. (2009). 3D printing technology in tactile maps compiling. En *24th International Cartographic Conference*.
- VV. AA. (2008). *La educación de estudiantes con impedimentos visuales en texas: Guías y normas*. Texas.
- VV. AA. (1991). *Museums without barriers: A new deal for disabled people*. London; New York: Fondation de France: ICOM y Routledge.
- VV. AA. (2003). Accesibilidad para personas con ceguera y deficiencia visual. En P. Martín & S. Luengo (Eds.), *Madrid: ONCE*.
- VV. AA. (2011). *La Bastida de les Alcusses 1828-2010*. Valencia: Museo de Prehistoria de Valencia.
- Wolfgang F. E. P. & Ostroff E. (eds.)(2003). *Universal design handbook*. New York (EE. UU.): McGraw-Hill.
- Wang, Z., Li, N., & Li, B. (2012). Fast and independent access to map directions for people who are blind. *Interacting with Computers*, 24(2), 91-106. doi:10.1016/j.intcom.2012.02.002.

- Weih, L. A. M., Hassell, J. B., & Keeffe, J. (2002). Assessment of the impact of vision impairment. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(4), 927-935.
- Weintraub, D. J., & Walker, E. L. (1978). *Temas básicos de psicología: Percepción*. Alcoy, Alicante: Marfil.
- WHO (World Health Organization). (2001). International classification of functioning, disability and health (ICF). <http://www.who.int/classifications/icf/en>
- WHO (World Health Organization). (2012). Visual impairment and blindness. [en línea]. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/#>.
- Wiener, W. R., Blasch, B. B., & Welsh, R. L. (2010). *Foundations of orientation and mobility* (3 ed., Vol. II). New York: American Foundation for the Blind.
- Wong, W. (1986). *Fundamentos del diseño bi y tri dimensional*. Barcelona: G. Gili.
- Wright, T., Haris, B., & Sticken, E. (2010). A best-evidence synthesis of research on orientation and mobility involving tactile maps and models. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 104(2), 95-106. .
- Zheshen, Z., Nan, N., & Baoxin. (2012). Fast and independent access to map directions for people who are blind. *Interacting with Computers*, 24, 91-106.
- Zimring, C. M., & Templer, J. A. (1983). Wayfinding and orientation by the visually impaired. *Journal of Environmental Systems*, 1983-1984, 13, 333-353.
- Žabkar, V., Brenčič, M. M., & Dmitrović, T. (2010). Modelling perceived quality, visitor satisfaction and behavioural intentions at the destination level. *Tourism Management*, 31(4), 537-546. doi:10.1016/j.

En este documento se describe la terminología específica empleada en este estudio y posteriormente se describen en detalle los símbolos empleados en distintos experimentos.

11.1. GLOSARIO

- *Acceso háptico*. Captación de la información mediante el sentido del tacto.
- *ADON*. Australian Division of National Mapping.
- *APB*. American Foundation of the Blind.
- *Bastón blanco*. Vara alargada que emplean algunas personas discapacitadas visuales para desplazarse de manera autónoma por el espacio público. Su diseño permite el rastreo y la detección de obstáculos que se encuentran en el suelo.
- *Blindfolded*. Término anglosajón que hace referencia a personas con los ojos tapados por un antifaz o elemento similar.
- *Braille'n speak*. También conocido como Braille hablado. Aparato portátil y manejable que permite almacenar y procesar información a personas invidentes. La entrada de datos se realiza mediante teclado Braille y la salida de información a través de una voz sintética. Sirve además como agenda, calendario, cronómetro, calculadora, etc.
- *CAD*. Computer-Aided Design. Ciertos sistemas digitales que ayudan a los técnicos, ingenieros, diseñadores y arquitectos a proyectar diseños virtuales.
- *Ciego*. Persona privada del sentido de la vista.
- *Convención visual*. Norma o práctica admitida tácitamente, que responde a precedentes o a la costumbre. En este caso referido únicamente al ámbito de la comunicación visual.
- *CNC*. Control Numérico Computerizado.
- *DAO*. Idem CAD. Diseño Asistido por Ordenador.
- *Deficiencia*. Anormalidad o pérdida de una estructura corporal o de una función fisiológica.
- *Deficiencia Visual*. Relativo a la deficiencia dentro del ámbito concreto visual.
- *Diagrama táctil*. Gráfico táctil que expresa información tipo datos numéricos tabulados.
- *Discapacidad*. Término genérico que incluye déficits, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación. Indica los aspectos negativos de la interacción de un in-

dividuo (con una condición de salud) y sus factores contextuales (factores ambientales y personales).

- *Discapacidad visual*. Relativo a la discapacidad concreta dentro del ámbito visual.
- *Escaneo táctil*. Ídem exploración háptica/táctil.
- *Exploración háptica/táctil*. Procedimiento mediante el cual se examina y reconoce una cosa mediante el sentido del tacto.
- *GIS*. Geographic Information System.
- *Gráfico tangible/táctil*. Tipo de gráfico que se puede reconocer mediante el sentido del tacto gracias al empleo de contraste de relieve
- *Invidente*. Ídem ciego.
- *Lámina fúser*. Papel especial que contiene microcápsulas en base alcohol que con la acción del calor se expanden y generan relieve sobre la lámina. Ídem *swell paper* o papel microencapsulado.
- *Leyes o principios gestálticos (de la Gestalt)*. Conjunto de leyes o principios de naturaleza fenomenológica desarrollados a principios del siglo XX por la escuela alemana de Psicología de la Gestalt (forma o configuración). Estos principios enuncian una serie de normas fundamentales que rigen ciertos fenómenos de carácter perceptivo: principio de la pregnanz, de agrupamiento por proximidad, principio de constancia perceptiva, etc.
- *m*. Metros.
- *mm*. Milímetros.
- *Mapa cognitivo*. Recurso o estrategia para representar ideas, conceptos y temas bajo una estructura lógica a modo de esquema.
- *Mapa mental*. Ídem mapa cognitivo.
- *Memoria háptica*. Tipo de memoria que permite codificar, almacenar y evocar información percibida con el sentido del tacto.
- *Mockup*. Modelo preliminar de un producto, normalmente imitando las dimensiones reales del objeto final. Se pueden emplear como elementos para la evaluación del uso en fases experimentales.
- *Impresión mediante sistema de Microencapsulado*. Sistema de impresión en relieve. Este proceso de impresión permite generar relieves mediante la expansión de microcápsulas en base alcohol integradas en la composición de un papel especial (*swell paper*, pa-

pel microencapsulado) y la combinación de calor. También conocido como Fúser o Minolta.

- *ONCE*. Organización Nacional de Ciegos Españoles.
- *ONU*. Organización de la Naciones Unidas.
- *Papel microencapsulado*. ídem Lámina fúser y Swell paper.
- *Percepción háptica*. Se refiere al conjunto de procedimientos a través de los que se involucran fuentes sensoriales tanto en la modalidad táctil como en la kinestésica.
- *Percepción táctil*. Este sistema de percepción se relaciona con la información adquirida únicamente a través de la piel, en él el perceptor adopta una postura estática que se mantiene a lo largo de todo el tiempo que dura el procesamiento de la estimulación.
- *Percepción kinéstesica/cinestésica*. Este sistema de percepción se relaciona con la información adquirida mediante los músculos y tendones en condición de movimiento.
- *PBSB*. Persona Beneficiada de la Supresión de Barreras.
- *Perro guía*. Perro especialmente adiestrado para ayudar en la orientación a personas invidentes.
- *PMR*. Persona con Movilidad Reducida.
- *Sólidos primitivos*. Figuras básicas tridimensionales que se caracterizan por estar cerradas y por poseer una geometría fácilmente caracterizable desde el punto de vista matemático. Se emplean como elementos de diseño conceptual. Cubo, esfera, cono, cilindro, prismas piramidales, etc.
- *Principio de cerramiento o cierre*. Ley de la Gestalt que indica cierta tendencia a agrupar en estructuras formales cerradas aquellas partes que juntas se encuentran cerradas, pero por separado son estructuras abiertas. Tendencia a completar unidades de estructuras formales incompletas.
- *Principio de la buena continuidad*. Ley de la Gestalt que indica cierta tendencia a agrupar en estructuras formales partes o unidades que se encuentran alineadas o compartiendo una suave continuidad.
- *Principio de la buena forma (Preganz)*. Ley de la Gestalt que indica que el fenómeno de percepción unitario de la forma se organiza de manera que la estructura formal resulte equilibrada, armónica, consistente... de tal manera que las partes de esta estructura formal posean unos principios constructivos que las relacionen y las hagan pertenecerse

entre ellas, es decir, que se requieran recíprocamente. Este concepto se encuentra estrechamente relacionado con el de simplicidad, orden, simetría, regularidad, estabilidad, etc. La ley de la buena forma actúa normalmente como garante para una organización percibida unitaria... con pregnancia.

- *Principio de proximidad.* Ley de la Gestalt que indica cierta tendencia a agrupar en estructuras formales, formando un todo, aquellas unidades que están más juntas o próximas entre sí, antes que aquellas que se encuentran alejadas.
- *Principio de semejanza.* Ley de la Gestalt que indica que, en igualdad de condiciones, existe cierta tendencia a agrupar en estructuras formales, formando un todo, aquellas unidades que poseen algún tipo de semejanza (forma, color, tamaño), antes que aquellas que no comparten ningún tipo de afinidad. Principio de similitud.
- *Principio de simplicidad.* Ley de la Gestalt que indica que todo estímulo perceptivo tiende a verse de modo tal que la estructura resultante sea tan simple como lo permitan las condiciones dadas.
- *Prismas básicos.* Idem sólidos básicos y sólidos primitivos.
- *Prisma.* Cuerpo sólido limitado por dos polígonos planos, paralelos e iguales que se llaman bases, y por tantos paralelogramos cuantos lados tenga cada base.
- *Símbolo táctil.* Representación perceptible mediante el sentido del tacto de una idea o mensaje. Es un signo que presenta un vínculo admitido mediante convención entre su significante (forma) y su significado.
- s. Segundos.
- *Símbolo target.* Tipo de símbolo concreto que en los experimentos realizados con personas focaliza la atención de las tareas encomendadas por el investigador.
- *Sólidos básicos.* Idem prismas básicos y sólidos primitivos.
- *Swell paper.* Idem Lámina fúser. Papel microencapsulado.
- *Termoconformado.* Proceso de fabricación consistente en calentar una plancha o lámina de polímero termoplástico, de forma que al reblandecerse ésta por la acción del calor puede adaptarse a la forma de un molde por acción de presión al vacío.
- *Tiflogología.* Relativo a la disciplina que estudia la ceguera y los medios de curarla.
- *UNESCO.* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- *Usuario.* Persona que interactúa con el entorno, servicios y productos.

- *Vidente*. Persona que ve.
- *Wayfinding*. Proceso de orientación utilizando información del entorno. El concepto de *wayfinding* se encuentra relacionado con el conocimiento de cómo se orientan las personas en el espacio y a través de qué procesos: cognitivos, perceptivos, etc.
- *WHO*. World Health Organization. Idem ONU.

11.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SÍMBOLOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO B, DISCRIMINACIÓN TÁCTIL

El símbolo circular, en forma de “O”, delimitado por una línea en su contorno es uno de los más característicos en el empleo de planos táctiles. Existe una variada literatura a su alrededor (Lockwood, 1995). Además existen numerosos autores e instituciones que lo utilizan en sus estudios así como guías que recomiendan su uso (Goodrick, 1987; Nolan & Morris, 1971; Edman, 1992; NCA, 1985; Rener, 1993). En este caso se ha empleado un símbolo según las dimensiones que se aprecian en la imagen (Imagen 95), con un diámetro exterior de 7 mm y una altura de 2 mm, delimitado en su perímetro superior por una línea sobreelevada del conjunto que remarca el perímetro.

La “V” o cabeza de flecha (Imagen 95) consiguió los mejores resultados en el estudio comparativo entre diferentes símbolos que representaban el concepto de dirección. Este estudio lo llevó a cabo Don McCallum, Simon Ungar y Sandra Jehoel y el porcentaje de acierto del mismo fue del 94,4% en la lectura de la dirección (McCallum et al., 2006). En este caso se ha empleado un símbolo según las dimensiones que se aprecian en la imagen, con una altura de 1.2 mm y 7.5 mm de lado y 1.2 mm de espesor. El ángulo interior es de 70 °. Por otro lado, desde Japón Fujimoto atiende a este símbolo para indicar dirección y proponerlo dentro de los estándares para realizar planos táctiles en el país nipón (Fujimoto, 2005); y Rener también lo selecciona en su trabajo analítico entre los símbolos con carácter puntual con más facilidad para ser comprendidos mediante el sentido del tacto (Rener, 1993).

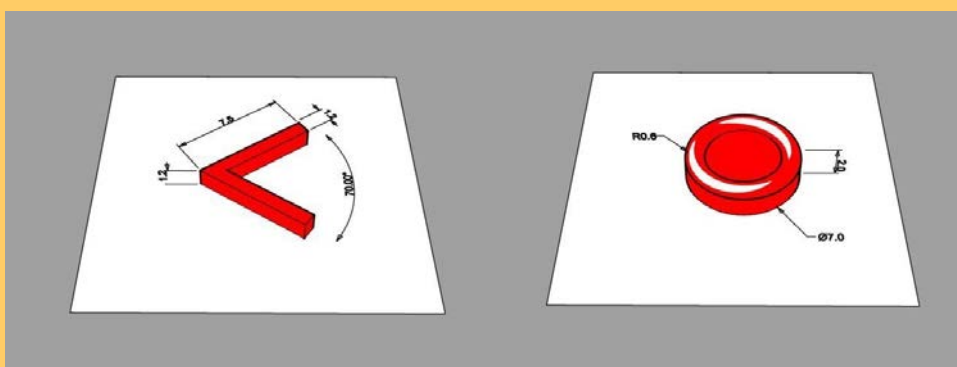


Imagen 95: Imágenes de los símbolos empleados: “O” y “V” o cabeza de flecha.

Por otro lado, los símbolos volumétricos fueron seleccionados partiendo de los resultados posi-

tivos que se realizaron en estudios previos (Gual et al., 2011a; Gual et al., 2012).

El símbolo con forma de **Pirámide** de base cuadrangular, según se aprecia en la imagen (Imagen 96), tiene una altura de 7.5 mm y sus lados en la base son de 5.5 mm.

El símbolo **Anillo** posee una sección cuadrada de 2.5 x 0.5 mm de espesor y un diámetro exterior de 6.5 mm, su altura es de 5,9 mm (Imagen 96).

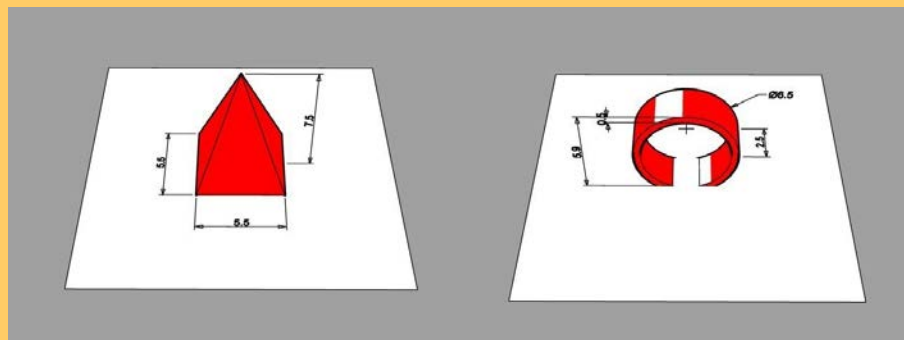


Imagen 96: Imágenes de los símbolos Pirámide y Anillo

11.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS SÍMBOLOS TÁCTILES NO EVALUADOS PERO EMPLEADOS EN LAS PLANTILLAS-TESTS

En el conjunto de los diferentes tests se han empleado diversos tipos de símbolos, a continuación se describen aquellos que tienen características formales planas:

El símbolo denominado **Cuadrado** está definido por cuatro prismas de base cuadrada, situados con un orden que en planta cuya configuración recuerda a un cuadrado (Imagen 97). Tiene una altura constante de 1.2 mm. Cada prisma tiene una base de lado 2.5 mm y en planta sus dimensiones son de 8.5 mm x 8.5 mm. El símbolo aparece recomendado para su uso como símbolo “punto” fácilmente discriminable al tacto en el reconocido trabajo de Nolan y Morris (Nolan & Morris, 1971), además de en el de Edman (Edman, 1992).

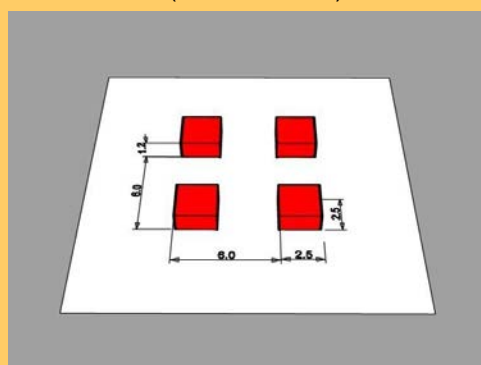


Imagen 97: Símbolos cuadrado a partir de la organización de prismas en sus vértices.

11. ANEXOS

El símbolo denominado **Elipse**, aunque en realidad no es rigurosamente una elipse, sino más bien un círculo alargado en una de sus direcciones tiene unas dimensiones generales de 8.5 mm x 4 mm. La línea que define su perímetro posee un ancho de 1 mm y una altura constante de 1.2 mm (**Imagen 98**). El símbolo aparece recomendado para su uso como símbolo "punto" fácilmente discriminable al tacto en el reconocido trabajo de Nolan y Morris (Nolan & Morris, 1971), además de en el de Edman (Edman, 1992).

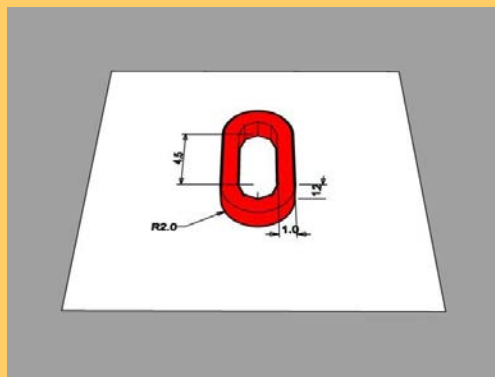


Imagen 98: Símbolos "Elipse".

El símbolo en forma de **L** tiene unas dimensiones de 7.5 mm de lado, un espesor de línea de 0.6 mm y una altura constante de 1 mm (**Imagen 99**). Este símbolo ha sido empleado en el trabajo de Papadopoulos, Boutoura y Livieratos (Papadopoulos, Livieratos, & Boutoura, 2001) y ha sido seleccionado por su simplicidad formal. Además este símbolo se empleó en los estudios previos con resultados positivos.

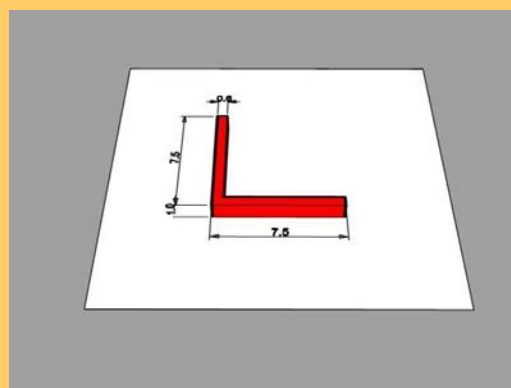


Imagen 99: Símbolo "L".

El símbolo denominado **U** no es un símbolo estrictamente plano (**Imagen 100**), ya que en su cara superior presenta una ligera inclinación con la intención de introducir un matiz particular que lo distinga del símbolo **L**, e incluso del Símbolo **V**. Tiene unas dimensiones ligeramente mayores

que éstos, 10 x 10 mm. de lado y una altura máxima de 2.5 mm que varía hasta los 0.7 mm en su extremo más bajo. Este símbolo se empleó en los estudios previos con resultados positivos (Gual et al., 2011a).

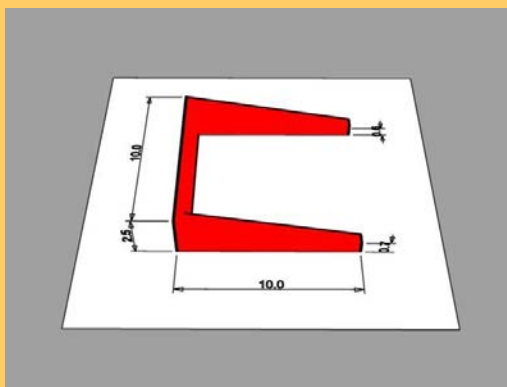


Imagen 100: Símbolos táctil "U".

Por otro lado, también se han empleado símbolos volumétricos, en 3D, para acompañar las plantillas-test. Todos ellos han sido seleccionados por sus resultados positivos en las experiencias previas.

En primer lugar, destaca el **Cilindro básico** (Imagen 101). Éste presenta un diámetro de 5 mm y una altura de 5 mm.

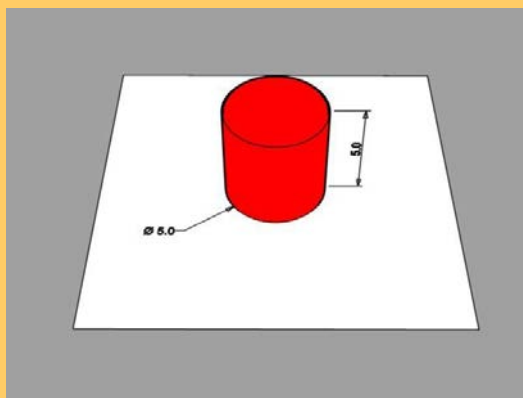


Imagen 101: Símbolo táctil en 3D, "Cilindro básico".

El **Cilindro con corte superior inclinado** (Imagen 102). Éste tiene un diámetro de 5.5 mm y una altura máxima de 7.5 mm. Una de sus características formales más definitorias es el remate en forma de plano inclinado en su cara superior. Esta última, realizada con el fin de distinguirse del **Cilindro básico**.

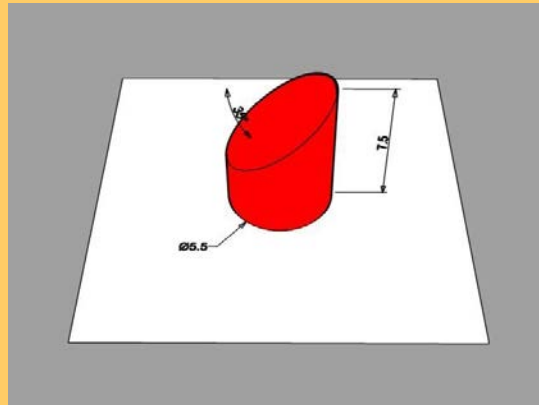


Imagen 102: Símbolo táctil en 3D, “Cilindro con corte superior inclinado”.

Otro cilindro también empleado en las plantillas ha sido el **Cilindro fino** (Imagen 103). Su principal característica es el porte esbelto con el fin de distinguirse por sus dimensiones de los otros dos símbolos en forma de cilindro empleados en el estudio. Tiene un diámetro en su base de 2.5 mm, y una altura de 7.5 mm.

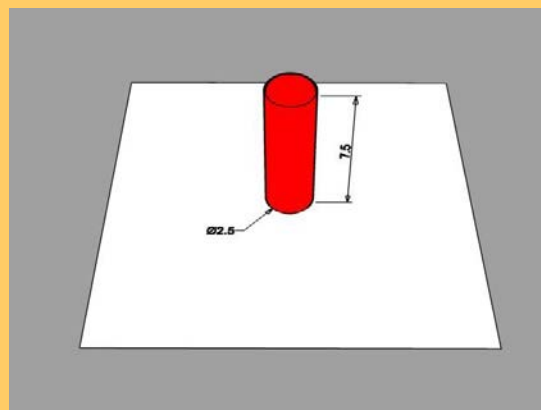


Imagen 103: Símbolo táctil en 3D, “Cilindro fino”.

El **Cono básico** empleado en este estudio tiene una base de 5.5 mm y una altura de 5.5 mm (Imagen 104).

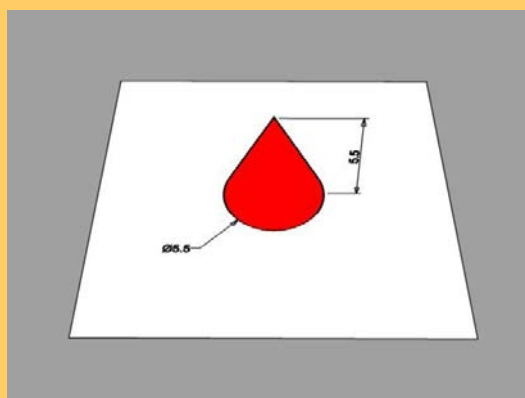


Imagen 104: Símbolo táctil en 3D, “Cono básico”.

Por otro lado, el denominado **Cono invertido** (Imagen 105) se ha usado en este estudio en posición diferente a la habitual, es decir, en posición invertida con el fin de distinguirse del **Cono básico**. Para facilitar el acceso con los dedos a la parte inferior del cono se ha empleado un cilindro en su base que ayuda a elevar el cono y así a mejorar el acceso con la yema de los dedos a su parte inferior. Tiene un diámetro de 5.5 mm y una altura máxima de 7 mm.

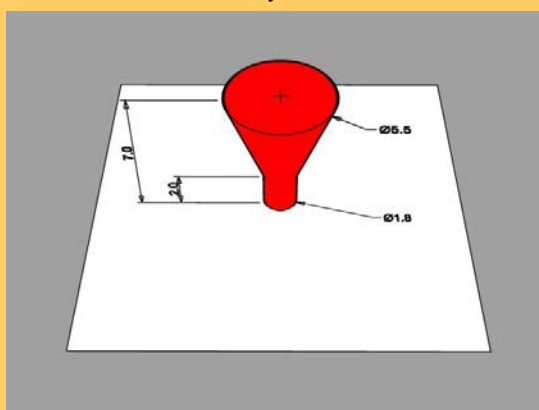


Imagen 105: Símbolo táctil en 3D, “Cono invertido”.

Otro de los prismas básicos empleados en las plantillas-test con formato sólido es el **Cubo** de lado 2.5 mm (Imagen 106).

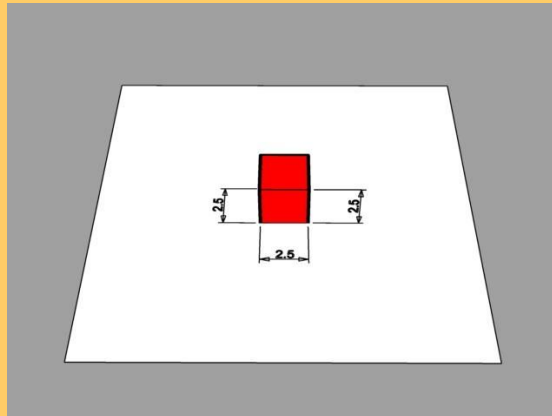


Imagen 106: Símbolo táctil en 3D, "Cubo".

La **Esfera (Imagen 107)** también ha formado parte de las plantillas-test. Se ha empleado una esfera de diámetro 5 mm. Para mejorar su acceso con los dedos a la parte inferior del símbolo se ha utilizado un cilindro de soporte cuyo misión es elevar ligeramente el elemento. Posee una altura máxima de 9 mm.

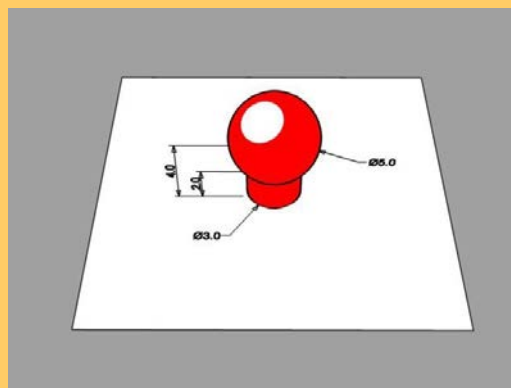


Imagen 107: Símbolo táctil en 3D, "Esfera".

Otro de los símbolos que se han empleado es el **Prisma de base rectangular (Imagen 108)**, cuyas dimensiones son 10 x 5 mm de base y 5 mm de altura.

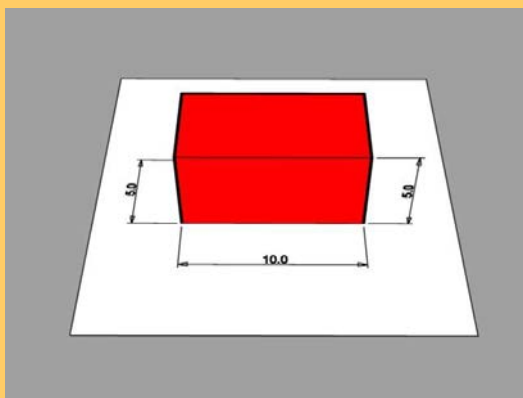


Imagen 108: Prisma de base rectangular.

También se han empleado otro tipo de prismas de base rectangular a los que se les ha añadido ciertas modificaciones sobre el prisma básico. En primer lugar, el prisma con corte inclinado en su cara superior, a modo de **rampa**. Éste símbolo tiene una base de 3.75×7.5 , una altura máxima de 2.5 mm y una altura mínima de 0.5 mm (Imagen 109). La máxima pendiente del plano inclinado que remata el conjunto se realiza en sentido longitudinal. En segundo lugar, también se ha empleado otro tipo de volumen similar pero con un remate superior en forma de corte curvado. Las dimensiones de la base son idénticas al anterior prisma con corte inclinado, pero éste presenta un altura máxima de 4.5 mm y una altura mínima de 0.25 mm. La curvatura posee un radio variable ya que se trata de una curva compleja que sigue una geometría del tipo NURBS (*Non Uniform B-Splines*). Por último, el prisma de base rectangular con un “mordisco”, en sentido longitudinal, en una de sus aristas superiores. Éste posee una base de 5×10 mm. Y una altura de 5 mm.

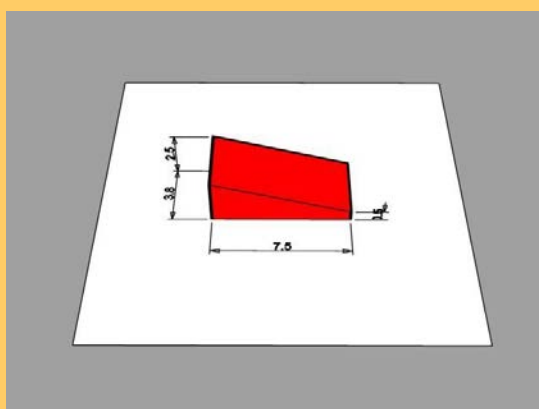


Imagen 109: Símbolo "rampa".

11.2.2. DESCRIPCIÓN PORMENORIZADA DE LOS TESTS

A continuación se describen las 8 plantillas símbolos empleadas en los experimentos.

a. TEST 1

Símbolo a buscar: PIRÁMIDE (Imagen 110).

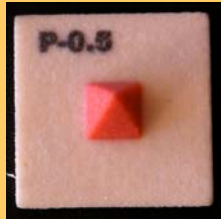


Imagen 110: Pirámide.

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 6 símbolos en 2D y 10 en 3D, mezclados aleatoriamente. Además, la pirámide aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos que aparecen son (Imagen 111):

- 10 Símbolos en 3D del tipo (además de la pirámide): Cilindro fino; Cilindro normal; Cono; Prisma de base rectangular con corte inclinado en su cara superior, Esfera y Prisma de base rectangular con corte cóncavo en su cara superior.
- 6 Símbolos en 2D: “L”; “O”; “U”; “V o cabeza de flecha”; Elipse y Cuadrado definido por 4 puntos en sus vértices.

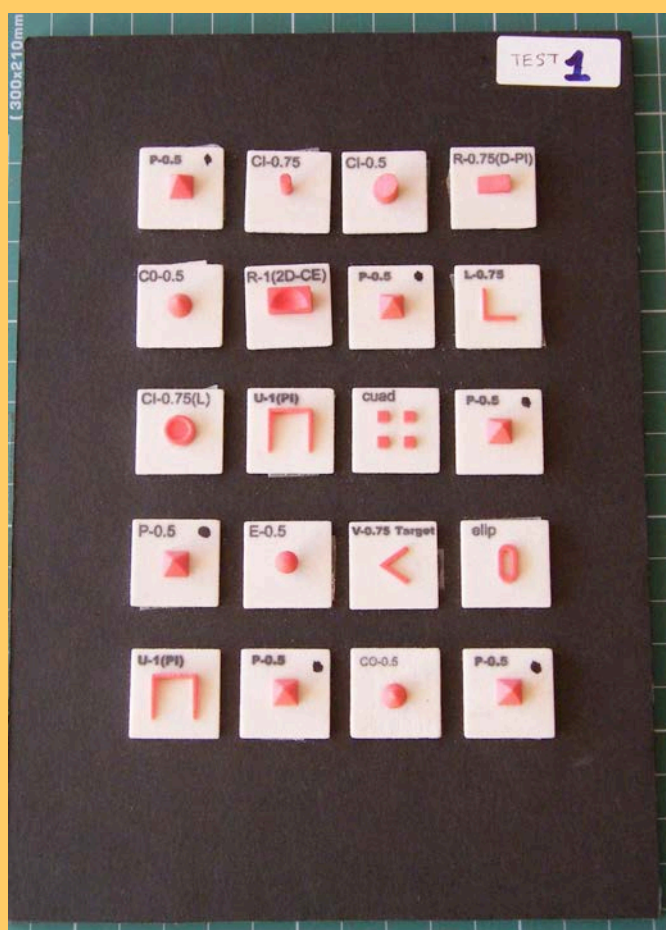


Imagen 111: Imagen de la plantilla: Test 1.

b. TEST 2

Símbolo a buscar: V o CABEZA DE FLECHA (Imagen 112).



Imagen 112: "V" o cabeza de flecha.

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 10 símbolos en 2D y 6 en 3D, mezclados aleatoriamente. Además, la "V o cabeza de flecha" aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos que aparecen son (Imagen 113):

- 10 Símbolos en 2D del tipo (además de la "V o cabeza de flecha": Cuadrado definido por

11. ANEXOS

4 puntos en sus vértices; “U”; “V o cabeza de flecha; “O”; y “U” invertida.

- 6 Símbolos en 3D del tipo: Prisma de base rectangular con corte inclinado en su cara superior; Cono invertido; Cilindro normal; Cilindro fino; Cubo y Prisma de base rectangular.

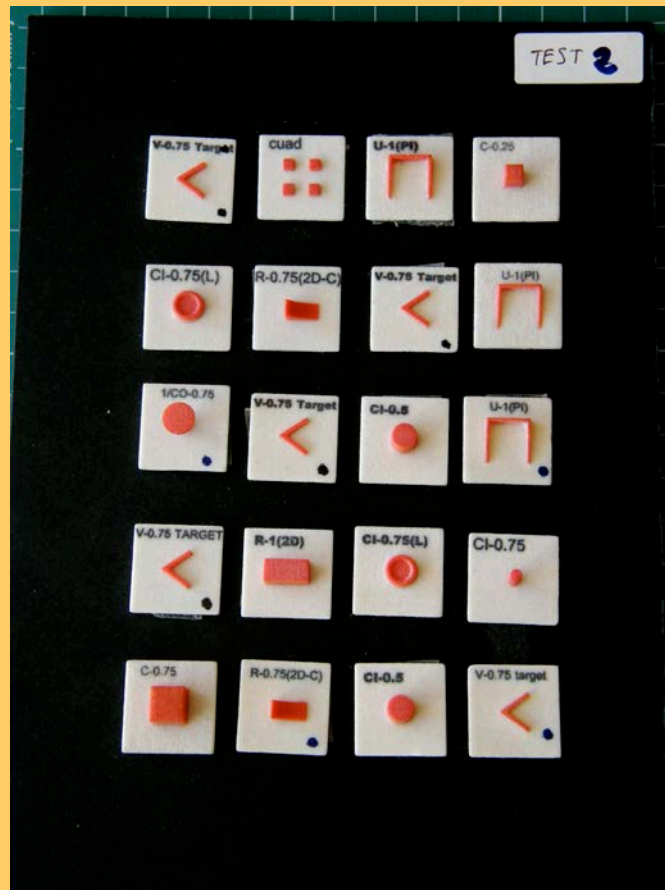


Imagen 113: Imagen de la plantilla: Test 2.

c. TEST 3

Símbolo a buscar: ANILLO (Imagen 114).



Imagen 114: Anillo.

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 16 símbolos en 3D distribuidos de manera aleatoria en la plantilla. Además, el anillo aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos, que aparecen son (Imagen 115):

- 16 Símbolos en 3D del tipo: Cilindro; Pirámide y Prisma de base rectangular.

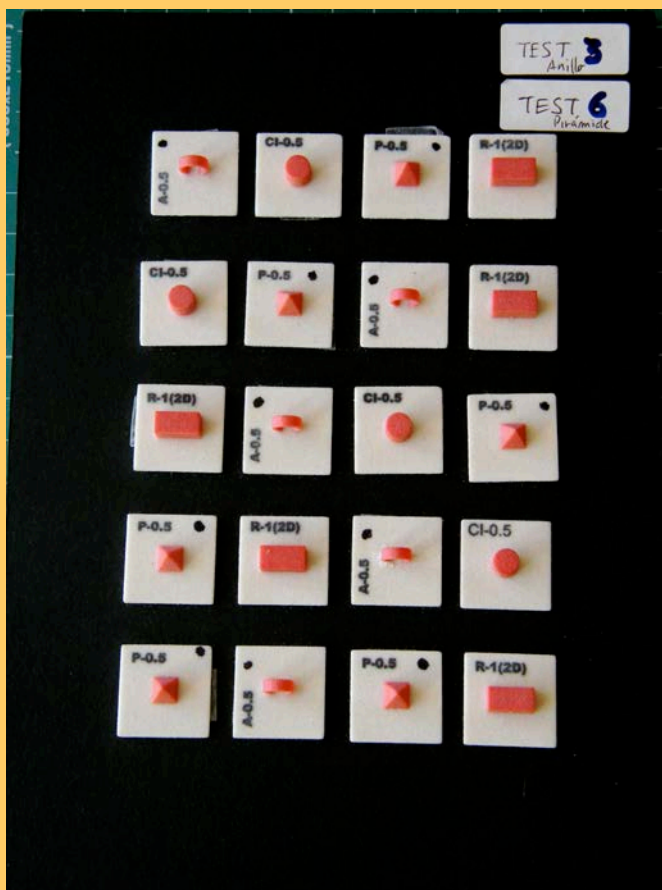


Imagen 115: Imagen de la plantilla: Test 3.

d. TEST 4

Símbolo a buscar: "O" (Imagen 116).



Imagen 116: Símbolo táctil "O".

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene

11. ANEXOS

16 símbolos en 2D distribuidos de manera aleatoria. Además, la “O” aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos, que aparecen son (Imagen 117):

- 16 Símbolos en 2D del tipo: “L”; “U” y “ V o cabeza de Flecha”.

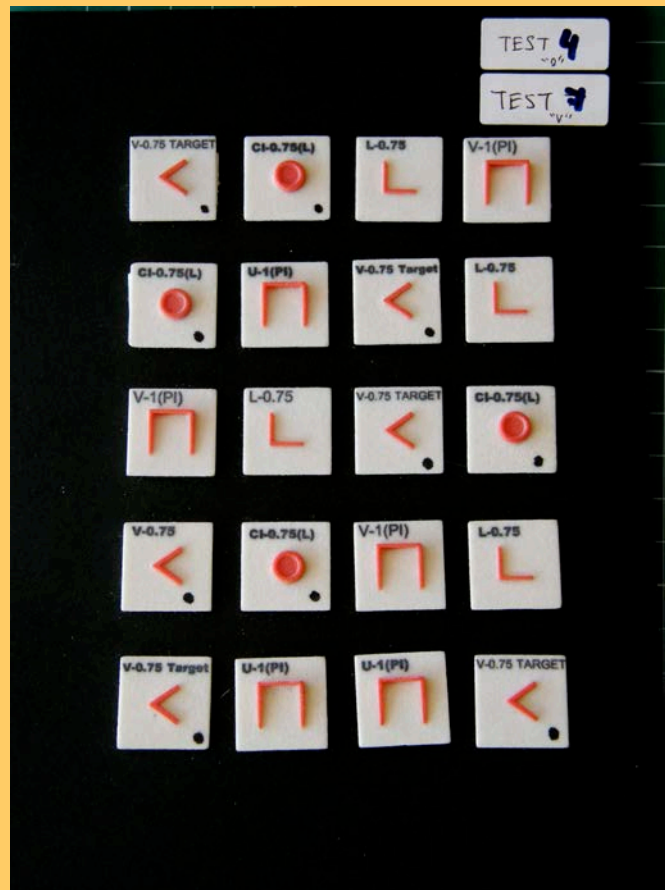


Imagen 117: Imagen de la plantilla: Test 4.

e. TEST 5

Símbolo a buscar: ANILLO (Imagen 114).

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 16 símbolos (en 3D y 2D) mezclados y distribuidos de manera aleatoria. Además, la “O” aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos que aparecen son (Imagen 118):

- 9 símbolos en 3D del tipo: Pirámide y anillo.
- 7 símbolos en 2D del tipo: “O” y “V”.

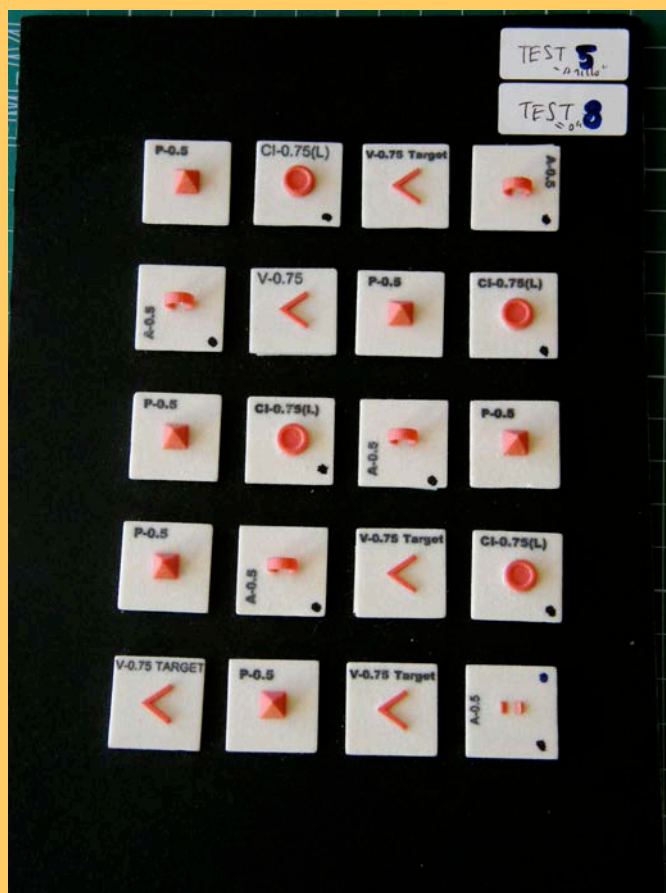


Imagen 118: Imagen de la plantilla Test 5.

f. TEST 6

Símbolo a buscar: PIRÁMIDE (Imagen 110).

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 16 símbolos en 3D de tres tipos. Además, la Pirámide aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos que aparecen son (Imagen 115):

- 16 Símbolos en 3D del tipo (incluyendo la Pirámide): Cilindro; Anillo y Prisma de base rectangular.

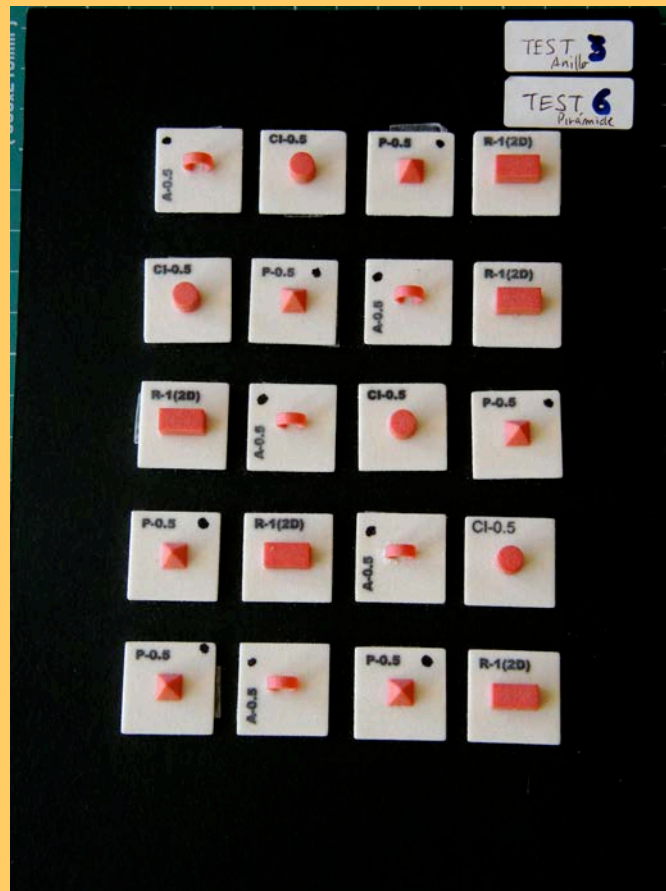


Imagen 119: Imagen de la plantilla: Test 6.

g. TEST 7

Símbolo a buscar: FLECHA (Imagen 112).

Características de la plantilla: la parte evaluable, es decir, las cuatro primeras filas, contiene 16 símbolos en 2D de tres tipos. Además, la Flecha aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos, que aparecen son (Imagen 117):

- 16 Símbolos en 2D de tipo (además de la “V o cabeza de flecha): “L”; “U” y la “O”.

h. TEST 8

Símbolo a buscar: “O” (Imagen 116).

Características de la plantilla: contiene 16 símbolos (en 3D y 2D) mezclados y distribuidos de manera aleatoria. Además, la “O” aparece 4 veces, una por fila, al azar. Concretamente, los símbolos, que aparecen son (Imagen 118):

- 9 símbolos en 3D del tipo: Pirámide y anillo.

- 7 símbolos en 2D del tipo: “O” y “V o cabeza de flecha”.

11.3. DESCRIPCIÓN DE LOS SÍMBOLOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO C, MEMORIZACIÓN HÁPTICA

En la Leyenda 1 se han empleado los siguientes símbolos táctiles para ser memorizados:

- **Cilindro con corte superior inclinado** (Imagen 102). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- **Prisma de base rectangular** (Imagen 108). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- **Anillo** (Imagen 96). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.
- **Pirámide** (Imagen 96). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.
- **Cuadrado** (Imagen 97). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- **Elipse** (Imagen 98). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- **O** (Imagen 95). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.
- **V** (Imagen 95). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.

Por otra parte, en la Leyenda 2 se han utilizado los siguientes símbolos táctiles:

- **Circunferencia pequeña** (Imagen 120). El símbolo en forma de circunferencia en relieve se configura a partir de una forma circular de 8 mm de diámetro y 1.2 mm de altura máxima en su perímetro. En su parte central el símbolo presenta una superficie cóncava que “atrapa la yema del dedo”.



Imagen 120: Circunferencia pequeña.

- **Símbolo Ascensor.** El símbolo ascensor en su formato en relieve se representa como se aprecia en la imagen (**Imagen 121**) con un cuadrado al que le falta un lado y dos diagonales que se cruzan en el centro y que parten de los vértices del cuadrado. Se trata de una convención visual comúnmente utilizada en la representación de ascensores o huecos en planta dentro del ámbito de la arquitectura. El cuadrado mide de lado 12 mm y las líneas que lo configuran tienen un ancho de 1 mm y una altura de 1.2 mm. Este símbolo se considera una convención visual, proveniente de la imagen de vista en planta normalmente empleada para representar ascensores o huecos en planta en el ámbito de la edificación.



Imagen 121: Símbolos táctil denominado "Ascensor".

- **Símbolo en forma de V mostrando dirección (Imagen 122).** El símbolo se define por dos líneas en relieve que forman entre ellas un ángulo de 60°. Cada línea tiene una longitud de 10 mm y un espesor de 1 mm. Su altura es variable y presenta una ligera inclinación que va desde su punto más alto en su vértice, con una altura de 1.3 mm, hasta su parte más deprimida en los extremos de los lados de 0.3 mm.



Imagen 122: Símbolo en forma de V mostrando dirección.

- **Textura regular (Imagen 123).** Se representa por una superficie rectangular de 30 x 10 mm. En su perímetro, uno de sus lados se encuentra abierto 15 mm por su parte central. El ancho de la línea perimetral es de 1 mm y su altura 1.2 mm. En su interior se expone una textura generada por una trama de cuadrados de 5 mm de lado cuyas líneas poseen un ancho de línea de 0.8 mm y una altura de 1 mm. La trama interior se encuentra girada 45° respecto a las líneas perimetrales.



Imagen 123: Textura regular.

- El símbolo **Escalera** se configura a partir de 4 líneas en relieve de 1 mm de espesor y un ancho variable en función del espacio al que son aplicadas (**Imagen 124**). La altura de las líneas también varía de manera que existe una degradación de altura entre los extremos del símbolo, de 1.2 mm en su parte más elevada, hasta 0.3 mm en el extremo opuesto. Este símbolo se considera una convención visual, proveniente de la imagen de vista en planta normalmente empleada para representar escaleras en el ámbito de la edificación.



Imagen 124: Símbolo Escalera.

- **Pareja de puntos** (**Imagen 125**). Este símbolo se representa mediante dos puntos de 3 mm de diámetro, una separación entre centros de 5 mm y una altura de relieve de 1.2 mm.



Imagen 125: Símbolo formando una pareja de puntos en relieve.

- **Textura irregular** (**Imagen 126**). Se trata de una textura cercada por un rectángulo de 25 x 18 mm. El perímetro del rectángulo se representa con una línea de 2 mm de ancho y de 1.5 mm de altura. En su interior se representa una textura irregular con diversos salientes y depresiones.



Imagen 126: Textura irregular.

- **"O" termoconformada (Imagen 127)**. Símbolo circular de 12 mm de diámetro y 2 mm de altura máxima en su perímetro, es decir, en su parte más elevada, ya que el contorno se encuentra circundada por una línea de sección "cuasi-circular" en relieve de 2 mm de ancho. Su parte interior se encuentra en un plano ligeramente inferior al perímetro.



Imagen 127: Símbolo "O" termoconformado.

11.4. DESCRIPCIÓN DE LOS SÍMBOLOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO D, PLANO TÁCTIL URBANO

Los símbolos evaluados en este experimento son los siguientes:

Boca de metro

- *Plano A*. Símbolo U mayúscula (**Imagen 128**). Forma compuesta por tres líneas de 5 mm longitud cada una. Su espesor es de 1 mm y la altura del relieve es de 1.2 mm.



Imagen 128: Símbolo "U".

- *Plano B*. Símbolo "V" (**Imagen 129**). Este símbolo se configura a partir de dos líneas de 0.6 mm de espesor que forman un ángulo entre ellas de 30°. La longitud de cada línea es de 7.5 mm. Y la altura del relieve es de 1.3 mm.



Imagen 129: Símbolo táctil "V", vista en planta.

Cabina telefónica

- *Plano A.* (Imagen 130). Este símbolo es un círculo relleno en su interior con un diámetro de 5 mm y una altura de relieve de 1.2 mm.



Imagen 130: Símbolo "O llena".

- *Plano B.* El símbolo que representa la cabina telefónica es un cilindro fino estilizado de 1.3 mm de diámetro y una altura de 5 mm (Imagen 131).

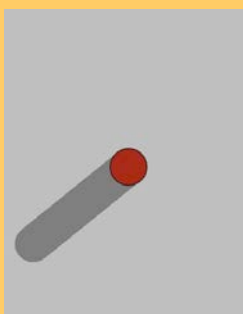


Imagen 131: Símbolo táctil cilindro fino, vista en planta.

Quiosco de prensa

- *Plano A.* Elipse (Imagen 132) El símbolo denominado "Elipse", aunque en realidad no es rigurosamente una elipse, sino más bien un círculo alargado en una de sus direcciones tiene unas dimensiones generales de 8.5 mm x 4 mm. La línea que define su perímetro posee un ancho de 1 mm y una altura constante de 1.2 mm. En el plano y la leyenda se muestra inclinado 45 ° respecto la horizontal.



Imagen 132: Símbolos táctil elipse.

- *Plano B.* Pirámide (Imagen 133). Pirámide de base cuadrada, el cuadrado de la base tiene 4.25 mm de lado. La altura de la pirámide es de 5 mm, su vértice superior ha sido achaflanado.

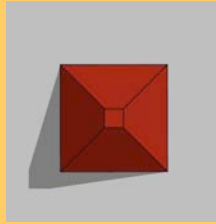


Imagen 133: Símbolo táctil en 3D, Pirámide, vista en planta.

Ascensor urbano

- *Plano A.* Cuadrado. Se configura como un cuadrado formado por 4 cuadrados pequeños en sus vértices. Cada cuadrado pequeño tiene una base de lado 2 mm de lado y en planta las dimensiones del cuadrado global son de 7 mm x 7 mm. El relieve es de 1.2 mm. En el plano y la leyenda se muestra inclinado 45 ° respecto la horizontal (Imagen 134).



Imagen 134: Símbolo táctil "cuadrado" configurado a partir de prismas en sus vértices.

- *Plano B.* Cono (Imagen 135). Cono con el vértice superior redondeado, su altura es de 4 mm y su diámetro de base también 4 mm.



Imagen 135: Cono, vista en planta de símbolo en 3D.

11.5. DESCRIPCIÓN DE LOS SÍMBOLOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO E, PLANO TÁCTIL INTERIOR

Los símbolos correspondientes al significado de “Recorrido”, “Ventana”, así como las etiquetas “ch: Sala de la Chimenea”; “pr: Sala principal”; “co: Sala de costura”; “te: Teraza” y “ti: Tienda”, no han sido comparados entre las dos distintas versiones, por lo tanto no se describirán en este anexo.

Los símbolos que se han estudiado en este experimento han sido los que se describen a continuación:

Inicio de recorrido

- *Plano A.* Símbolo Pirámide se representa con la misma forma testeada que en experimentos anteriores (Imagen 96). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.
- *Plano B.* Símbolos en forma de V mostrando dirección (Imagen 122). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Fin del recorrido

El contenido Fin del recorrido se representa con símbolos similares en ambos planos.

- *Plano A.* Símbolo circular de 12 mm de diámetro y 2 mm de altura máxima en su perímetro, es decir, en su parte más elevada, ya que el contorno se encuentra circundada por una línea de sección “cuasi-circular” en relieve de 2 mm de ancho. Su parte interior se encuentra en un plano ligeramente inferior al perímetro (Imagen 136).

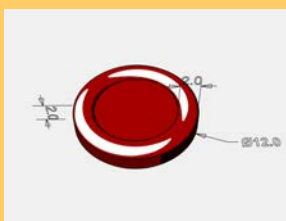


Imagen 136: Símbolo circular.

- *Plano B.* Símbolo circular de 12 mm de diámetro y 2 mm de altura máxima en su perímetro (Imagen 127). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Escalera

- *Plano A.* El símbolo empleado en la Escalera posee una forma de carácter realista con tres escalones intermedios que se adecuan a los cambios de nivel. Cada escalón está representado por sendos prismas de base rectangular. Los escalones se adecuan al ancho del espacio y la orientación depende del sentido de la subida. Cada escalón o prisma tiene un ancho de 5 mm y la separación entre ellos es de 3 mm. Las alturas de los prismas son 3 mm; 2 mm y 1mm (Imagen 137).

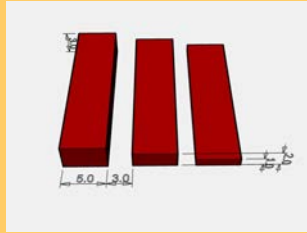


Imagen 137: Símbolo Escalera 3D.

- *Plano B.* El símbolo que corresponde al contenido Escalera en el plano termoconformado se configura a partir de 4 líneas en relieve de 1 mm de espesor y un ancho variable en función del espacio al que son aplicadas (Imagen 124). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Ascensor

- *Plano A.* El símbolo del ascensor se representa mediante el denominado “Cilindro con corte superior inclinado” (Imagen 102). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- *Plano B.* Ascensor (Imagen 121). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Pilar

- *Plano A.* Se representa con la misma forma testada en el Experimento B, Discriminación táctil, correspondiente a la denominación “Cilindro Flno” (Imagen 103). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- *Plano B.* El símbolo Pilar en la versión del Plano B es la denominada circunferencia pequeña (Imagen 120). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Acceso restringido

- *Plano A.* “Anillo” (Imagen 96). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento B, Discriminación táctil en página 300.
- *Plano B.* El Acceso restringido se representa mediante dos puntos en emparejados de 3 mm de diámetro cada uno, una separación entre centros de 5 mm y una altura de relieve de 1.2 mm (Imagen 125). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Chimenea

- *Plano A.* Prisma de base rectangular (Imagen 108). Véase Descripción de los símbolos táctiles no evaluados pero empleados en las plantillas-tests en página 301.
- *Plano B.* Textura regular (Imagen 123). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

Zona táctil

El contenido Zona Táctil se representa con símbolos similares en ambos planos.

- *Plano A.* Se trata de una textura irregular cercada por un rectángulo de 25 x 18 mm (Imagen 138), similar a la textura irregular termoconformada (Imagen 126). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

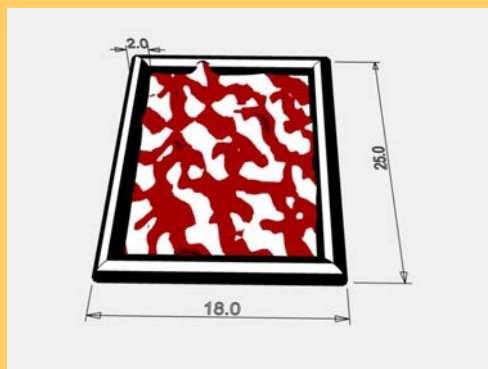


Imagen 138: Textura irregular 3D.

- *Plano B.* Textura irregular (Imagen 126). Véase Descripción de los símbolos evaluados en el Experimento C, Memorización háptica en página 315.

